

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA  
SAÚDE BRASILEIRA: UMA ANÁLISE  
ECONOMÉTRICA PARA O PERÍODO 2007-2017**

RODRIGO FERNANDES GONÇALVES  
Matrícula nº 116187358

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Eduardo Frickmann Young  
COORIENTADOR: Dr. André Albuquerque Sant'Anna

NOVEMBRO 2020

*As opiniões expressas neste trabalho são da exclusiva responsabilidade do autor*

## AGRADECIMENTOS

Por incrível que pareça, a conclusão deste trabalho é apenas o começo dessa jornada acadêmica (pelo menos espero). Esse começo (e fim), claro, não seria possível sem pessoas ao meu redor, proporcionando a base emocional, intelectual e filosófica para escrever e ser quem eu sou.

A todos os meus nobres amigos, que me apoiaram em momentos de crise. Seria impossível nomear todos aqui, mas vocês sabem. Mas quatro nomes precisam ser reconhecidos pelo apoio primordial na escrita desse trabalho. Julia, Dil, Marina e Zazá, muito obrigado.

Obviamente, a minha família, sustentação do ser. Andréa, por me ensinar persistência e respeito; Edmilson pela sede de leitura; Arthur pelo saber de questionar; Lucas pela sabedoria de amar o próximo e, mais importante, Maju.

Queria também agradecer aos membros do GEMA, principalmente à Biancca, Márcio, Alexandre e os Lucas (do bem e do mal). Gratidão, também, ao Alexis Saludjian, importante na formação do meu ser cientista.

Ao Cadu, uma quantidade imensurável de ensinamentos e apoio em momentos críticos, em quase 4 anos de relação, responsável por abrir portas inimagináveis. André também mereceria uma página toda só de agradecimentos. Me ensinou em alguns meses muito mais que eu poderia imaginar, sobre a vida e sobre os métodos.

Reconheço, também, o papel primordial da UFRJ, faculdade inquestionavelmente genial, embora sempre questionável e aos professores e funcionários do Instituto de Economia.

Por fim, agradeço principalmente ao povo brasileiro. Que todos os gastos em minha educação sejam revestidos para o bem dos oprimidos e para ser voz daqueles que ainda não nasceram.

*The world is a beautiful place but we have to make  
it that way*

*Whenever you find home, we'll make it more than  
just a shelter*

*(The World Is a Beautiful Place and I Am No Longer  
Afraid to Die - Getting Sodas)*

## **Resumo**

A relação entre mudanças climáticas e saúde é amplamente estudada nas áreas biológicas e de saúde. Este trabalho procura uma das dimensões dessa relação, que é o aumento de internações em função de mudanças nos padrões de temperatura e precipitação, para o caso brasileiro, utilizando métodos e conhecimentos econômicos, uma vez que o aquecimento global pode trazer danos irreparáveis à saúde da população. Utilizando regressões econométricas, com modelo de efeitos fixos (análise de dados em painel) para o período entre 2007 e 2017, buscou-se analisar quantitativamente a relação entre variação de precipitação e temperatura no Brasil e internações de doenças selecionadas de acordo com uma revisão da literatura.

Os resultados encontrados mostram a complexidade dessas relações, e que os impactos podem se diferenciar bastante em função da natureza do problema de saúde humana. Não obstante, de forma geral, choques de calor parecem elevar internações por dengue e malária. Ainda, o estudo identificou que um desvio acima da média eleva as internações por cem mil habitantes para diabetes, onde os mais afetados aparentemente são os idosos. Por outro lado, ondas de frio elevam internações por doenças circulatórias e respiratórias, quase que de forma uniforme pelos grupos de idade. Pudemos observar, ainda, uma relação não linear entre temperatura e doenças respiratórias, ou seja, temperaturas acima e abaixo da média elevam as internações desse tipo.

Já para chuva, notou-se que choques de elevação de precipitação elevam casos de dengue por cem mil habitantes e, no outro extremo, secas parecem aumentar o número de internação por doenças respiratórias uma vez que a queda de precipitação eleva esse tipo de internação, onde crianças pequenas e pessoas mais velhas são afetadas de forma mais impactante.

De forma geral, o estudo corrobora com a literatura entre choques climáticos e doenças. Podemos observar, portanto, que as mudanças ambientais correntes e, conseqüentemente, modificações nos padrões de choques, potencialmente impactarão a saúde do brasileiro. É claro, então, a importância de um maior aprofundamento na temática se pretendemos evitar internações e óbitos, principalmente dos mais vulneráveis como os de grupos de risco e os mais pobres.

**Palavras-chave:** Aquecimento Global; Saúde; Dados em Painel; Variação Climática

# ÍNDICE

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I – O CLIMA E SUAS RELAÇÕES.....</b>	<b>12</b>
<i>I.1 - Clima e Saúde .....</i>	<i>12</i>
<i>I.2 - Economia, Meio Ambiente e Clima .....</i>	<i>15</i>
<b>CAPÍTULO II – DADOS E ESTATÍSTICA DESCRITIVA .....</b>	<b>18</b>
<i>II.1 – Dados.....</i>	<i>18</i>
<i>II.2 – Doenças: .....</i>	<i>20</i>
<i>II.2.1 – Arboviroses .....</i>	<i>20</i>
<i>II.2.2 – Doenças Cardiovasculares e Respiratórias e Diabetes: .....</i>	<i>23</i>
<i>II.3 – Idades .....</i>	<i>24</i>
<i>II.4 – Estatísticas Descritivas.....</i>	<i>25</i>
<b>CAPÍTULO III – METODOLOGIA .....</b>	<b>32</b>
<b>CAPÍTULO IV - RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
<i>IV.1 – Efeitos não lineares .....</i>	<i>39</i>
<i>IV.2 – Resultados por faixa etária .....</i>	<i>40</i>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>53</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

SUS	Sistema Único de Saúde
SISAM	Sistema de Informações Ambientais integrado à Saúde Ambiental
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
TAT	Terrestrial Air Temperature
TP	Terrestrial Precipitation
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MQO	Método dos Mínimos Quadrados Ordinários
PIB	Produto Interno Bruto

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Internações mensais para doenças circulatórias, respiratórias e diabetes, por região, 2007-2018.....	27
Figura 2 – Internações mensais para dengue e malária, 2007-2017 .....	28
Figura 3 – Internações anuais para dengue e malária, por região, 2007-2017 .....	29
Figura 4 – Média do desvio mensal de precipitação, 2006-2017 .....	31
Figura 5 – Média do desvio mensal de temperatura, 2007-2017 .....	31
Figura I – Internações mensais por doenças circulatórias, respiratórias e diabetes por região (por cem mil habitantes) .....	53
Figura II – Internações mensais por dengue e malária, por região (por cem mil habitantes), 2007-2017 .....	54
Figura III - Média do desvio mensal de precipitação por região, 2007-2017 .....	55
Figura IV - Média do desvio mensal de temperatura por região, 2007-2017.....	56



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatísticas descritivas gerais, 2007-2017 .....	26
Tabela 2 – Casos totais das doenças analisadas por ano, 2007-2017 .....	30
Tabela 3 - Internações Por Cem Mil Habitantes (para arboviroses), 2007-2017 .....	37
Tabela 4 - Internações Por Cem Mil Habitantes (para doenças circulatórias, respiratórias e diabetes), 2007-2017 .....	39
Tabela 5 - Internações Por Cem Mil Habitantes (para efeito não linear de temperatura), 2007-2017 .....	39
Tabela 6 - Internações Por Cem Mil Habitantes (por doença analisada e abaixo de 15 anos), 2007-2017 .....	41
Tabela 7 - Internações Por Cem Mil Habitantes (por doença analisada e acima de 15 anos), 2007-2017 .....	41

## INTRODUÇÃO

Montesquieu, com sua visão eurocêntrica, popularizou a visão do homem preguiçoso devido ao calor em sua *Magnum opus* “O Espírito da Lei”. O autor coletou dados sobre clima em diversos países, procurando entender a ligação entre variáveis geográficas e a construção da identidade nacional dos países observados (JONES, C. S., 2002). Utilizando a epistemologia em voga em sua época, empregava os métodos científicos para provar o porquê de o homem em climas frios ser mais produtivo e “vigoroso” em comparação ao homem do clima quente. Logo, o mesmo conseguia explicar por que os países mais frios, no século XVIII, eram mais ricos que os quentes. Por conseguinte, Montesquieu foi um dos primeiros ocidentais a estudar relações produtivas (economia) e clima, embora sob uma lente determinista.

Os economistas de formação estudam mais a fundo a ligação da temperatura com variáveis diversas há décadas, principalmente desde o surgimento do debate acerca do aquecimento global e as mudanças climáticas. Por exemplo, já estudou-se a relação entre agricultura, produção industrial, energia, entre outros, com as mudanças climáticas (DELL; JONES, B. F.; OLKEN, 2014), sendo a relação entre economia e temperatura quase sempre estabelecida com um viés pessimista.

Pode-se dizer que o clima afeta as variáveis socioeconômicas de duas formas: via “efeito direto” e “efeito crença” (HSIANG, S., 2016). Quando incidem sobre as crenças, as mudanças climáticas afetam escolhas e cestas de consumo dos agentes, principalmente no médio/longo prazo, alterando decisões econômicas de investimento, como no campo e na indústria. Se os agentes tomam uma decisão em  $t$  esperando uma dada previsão, baseada nas informações sobre o clima passado e suas informações e, devido às ações humanas, o clima em  $t+1$  é diferente do esperado, isso gera distorções e provoca problemas de otimização. Inclusive, o “efeito crença” atua concomitante com o efeito direto, que é o sentido diretamente pelos agentes e, não obstante, há uma retroalimentação. Um exemplo simplificador: se os agentes esperam que não vá chover em dezembro pois, historicamente, a probabilidade é muito baixa (efeito crença), não compram guarda-chuva. Mas se pelas mudanças climáticas, começa a chover em dezembro, os agentes molhar-se-ão (efeito direto).

Dessa forma, sabemos que a temperatura elevada afeta variáveis econômicas, por exemplo, diminui o ritmo do crescimento econômico e o PIB, concomitantemente, em países subdesenvolvidos. Mais especificamente, um aumento de 1 grau de temperatura prejudica o crescimento em 1,3%, pelo menos no curto prazo (DELL; JONES, B. F.; OLKEN, 2012). Ainda, na economia do trabalho é bem sabida a relação entre dias quentes e queda de produtividade (HEAL; PARK, 2016). No sentido quantitativo, a produtividade cai, de forma quase linear, 1,7% para cada 1 grau maior na média em dias acima de 15 graus, para os Estados Unidos, um país com clima mais ameno (DERYUGINA; HSIANG, S. M., 2014).

Nós, discentes e docentes da UFRJ, sabemos como é tentar produzir num verão de 40 graus e sem ar condicionado. Não obstante, é crucial evitar determinismo geográfico (onde país quente = país pobre), por isso é necessário entender mais a fundo como se dá a relação clima x economia, o que nos aprofundaremos mais durante o trabalho.

Há, ainda, um campo de estudo que conecta temperatura e saúde. Hipócrates talvez tenha sido o primeiro pensador ocidental a buscar a relação entre temperatura local e saúde. Para ele, mudanças abruptas ou condições não usuais do clima levavam a problemas de saúde, principalmente doenças infecciosas (FALAGAS *et al.*, 2010).

Chuva e temperaturas extremas são associadas a uma piora na saúde no senso comum. Daniel Defoe em seu livro “Um Diário do Ano da Peste”, escrito no século XVIII, exemplifica muito bem esse pensamento. Ao explicar as razões da peste bubônica atuar mais em ambientes quentes em comparação com frio, o mesmo diz:

“Outros garantiam que o clima quente poderia propagar a epidemia – já que o clima quente e mormacento enchia o ar de vermes (...) mas também diziam que o ar quente ou tempo quente, como costumamos dizer, torna os corpos relaxados e enfraquecidos, exaure os espíritos, abre os poros e nos deixa mais suscetíveis para contrair a epidemia...” (DAFOE, 2014 [1722]: 246)

Como, entretanto, podemos somar a esse debate? É possível identificar, por meio de métodos quantitativos contemporâneos, os efeitos das mudanças climáticas na saúde populacional ou estes limitam-se ao senso comum? Estas são as questões que motivam o desenvolvimento deste trabalho, aplicado ao estudo de caso brasileiro, no período entre 2007 e 2017. No presente trabalho, estimamos os efeitos de choques de temperatura e chuva sobre internação de certas doenças selecionadas, de acordo com a literatura sobre o tema. Para estimar esses efeitos, utilizamos um modelo de painel com efeitos fixos de município e mês. Foram analisadas 29.288.410 internações para o período de 10 anos para todos os municípios

brasileiros, e suas interações com as variáveis ambientais, com intuito de fornecer informação sobre efeito das mudanças climáticas na saúde brasileira.

Este trabalho visa contribuir com mais conhecimento sobre os danos de certas doenças que afetam a população brasileira. O trabalho é ainda mais relevante quando levamos em consideração o caminho traçado pelas ações antrópicas, as quais elevam a temperatura da Terra (IPCC, 2019), implicando mais danos potenciais à saúde.

O trabalho é organizado como se segue: A primeira parte trata de uma breve revisão da literatura teórica acerca de clima e saúde, seguida por uma análise dos métodos quantitativos utilizados para avaliar temperatura, economia e meio ambiente. Na segunda parte discorre-se sobre as doenças escolhidas e por quais razões as selecionamos. Também são apresentados os dados, como estes foram obtidos e tratados e, finalmente, as estatísticas descritivas. O terceiro capítulo trata da metodologia e o modelo aqui utilizado. A quarta seção apresenta os resultados, com seus diversos cortes e respectivas análises. Por fim, a conclusão resume as informações obtidas e fornece sugestões para futuros estudos no campo.

## CAPÍTULO I – O CLIMA E SUAS RELAÇÕES

### *1.1 - Clima e Saúde*

O clima é naturalmente alterado devido a flutuações da energia do sol, mudanças atmosféricas e na rotação da Terra, por exemplo, que interagem de forma complexa modificando características como temperatura, precipitação, umidade, chuva e vento (REITER, 2001).

Conquanto, são visíveis as mudanças climáticas ocorridas por ação humana, devido ao que se conhece como “Antropoceno”, (IPCC, 2019), responsável por um constante desequilíbrio entre homem e natureza. Assim, as variações climáticas recentes não advêm apenas de razões sobre-humanas e naturais, mas principalmente por ações antrópicas e pelo modo de produção produtivista o qual optamos por manter. Segundo Pachauri (2014), mais de metade do aumento de temperatura observado entre 1951 e 2010 deu-se por mãos humanas.

Estudos recentes revelam que a humanidade já atingiu grau de concentração de CO<sub>2</sub> similar à que se observava na idade Piacenziano da época Pliocena (compreendida entre 2,5 e 3,6 milhões de anos atrás), quando a temperatura era 3 graus maior à temperatura pré-industrial e o nível do mar 20 metros acima (VEGA *et al.*, 2020). Na idade, a mais quente da época Pliocena, a concentração de CO<sub>2</sub> era entre 381 e 427 partes por milhão, enquanto hoje temos 411 ppm. Ainda segundo os autores, neste ritmo de emissão de 2,5 ppm por ano (se constante), ter-se-á a maior concentração de CO<sub>2</sub> dos últimos 3,3 milhões de anos entre 2024 e 2025.

A acumulação de CO<sub>2</sub> supracitada e de outros gases estufa gera, portanto, o processo de aquecimento global e mudanças climáticas. Essas mudanças afetam o ser humano e sua saúde. No geral, os impactos causados pelo clima sobre a saúde humana podem ser diretos ou indiretos. Efeitos diretos são ondas de calor e desastres ambientais, por exemplo. Já os efeitos indiretos se dão via queda de produção de alimentos, alteração do ecossistema, aumento de incidência de doenças vetoriais, entre outros (BARCELLOS *et al.*, 2009).

Como alguns dos efeitos diretos das mudanças climáticas podem ser citados ondas de calor, enchentes, secas, maior frequência de tempestades e para efeitos indiretos podemos mencionar o aumento de doenças, má nutrição e doenças mentais (WATTS; ADGER; AGNOLUCCI, 2015). As enchentes são a maior causa de desastres naturais no mundo

(JAKUBICKA *et al.*, 2010) e, como dito, o aquecimento global aumenta a frequência desses eventos. Cabe ressaltar também, a ausência de planejamento urbano integrado, que poderia agir a favor da relação socioambiental, reduzindo os impactos negativos das chuvas e das potenciais ilhas de calor nas cidades.

No outro extremo, as mudanças climáticas também provocam mais secas. Além dos óbitos e perda de produção advindos da falta de chuvas, também podem provocar consequências mais complexas. Por exemplo, a exposição a secas quando criança (*in utero* ou primeira infância) aumenta a chance de algum tipo de deficiência física ou mental entre 3,5 e 5,2%, e de forma mais significativa para os homens, mostrando como choques ambientais afetam a saúde humana no curto até longo prazo, principalmente para países subdesenvolvidos (DINKELMAN, 2017). Secas também afetam a altura e desenvolvimento de crianças, principalmente para famílias pobres (HODDINOTT; KINSEY, 2001).

Ademais, ainda sobre má nutrição e suas consequências, as mudanças climáticas afetam as colheitas e plantações de forma mais negativa que positiva (PACHAURI, 2014), o que afeta o crescimento econômico. As quedas econômicas geradas pelas secas também limitam o desenvolvimento e os gastos em outras áreas, como a própria saúde, e afeta o bem estar da população (WATTS; ADGER; AGNOLUCCI, 2015).

De qualquer forma, existem estudos que defendem o clima como uma variável fundamental na ação das pandemias (HALES *et al.*, 2002), por exemplo. A saúde humana varia de acordo com variáveis climáticas, como temperatura, enchentes, secas etc. e o aquecimento global vai ser responsável em intensificar danos de doenças que já existem (SMITH, K. R. *et al.*, 2015), além de estimular o surgimento de novas doenças. A mudança climática estimula migrações de animais terrestres para áreas mais frias, gerando novos tipos de interação e rompendo os antigos, e deve ser levado em consideração ao propor estratégias para projeções futuras (PECL *et al.*, 2017). Dessa forma, as mudanças climáticas alteram os comportamentos do ecossistema, podendo levar doenças a locais antes inexistentes.

Segundo o último relatório do IPCC (IPCC, 2019), estima-se que até 2052, a temperatura média global aumentará entre 1,5 (se agirmos) e 2 graus, sendo os países perto da Linha do Equador afetados diretamente, com aumento entre 3 e 4 graus em dias quentes. Além de maior aumento da temperatura, os países subdesenvolvidos são os que mais serão afetados economicamente pelo aquecimento global (IPCC, 2019). Outras projeções dizem que, até o fim do século, temperatura aumentará entre 2,6 e 4,8 graus (WATTS; ADGER; AGNOLUCCI,

2015). Deve-se lembrar que maio de 2020 foi o mês com temperatura média mais quente desde 1850,<sup>1</sup> e as perspectivas ambientais para o futuro são ainda mais graves.

Ondas de calor, ou seja, um período prolongado de temperatura acima da média, estão associadas a óbitos em diversos países, de desenvolvidos (DÍAZ *et al.*, 2002) (YANG; YIN; ZHOU, M.; OU; LI, M.; LIU, Yunning; *et al.*, 2016) (PIVER *et al.*, 1999) a subdesenvolvidos, como o Brasil (GEIRINHAS *et al.*, 2020), afetando principalmente idosos e crianças e adultos com doenças crônicas.

Temperaturas acima da média, assim como poluição atmosférica, afetam a saúde das mulheres grávidas e dos recém nascidos, principalmente pessoas em grupo de risco, além de afetar taxas de natalidade, conforme estudo realizado nos EUA (BEKKAR *et al.*, 2020). Por exemplo, apenas um dia a mais acima de 26 graus celsius diminui a taxa de natalidade em 0,4%, para os Estados Unidos (BARRECA, A.; DESCHENES; GULDI, 2018).

Os estudos mais relevantes sobre a ligação entre temperatura e saúde foram feitos, principalmente, em países desenvolvidos e estudando ondas de calor (MCMICHAEL; WOODRUFF; HALES, 2006). Há, assim, necessidade de aprofundar estudos dessa natureza para os países de baixa renda (SMITH, K. R. *et al.*, 2015), como pretende o presente trabalho.

A principal diferença dos países desenvolvidos para o Brasil (e demais países em desenvolvimento) é a maior capacidade de adaptação. Os países ricos conseguirão se adaptar de forma melhor às mudanças climáticas e manter um certo nível de bem estar, com investimentos em adaptação, como ar condicionados, no curto prazo, e mudanças arquitetônicas no longo (DESCHENES, 2014), além de alertas em caso de desastre, saneamento básico e acesso a água potável e alimento saudável.

Por outro lado, países em desenvolvimento não possuem recursos nem força institucional para mudanças nessa direção. Por exemplo, já se identificou o impacto das secas na região semiárida do Brasil e como mudanças em saneamento e encanamento poderiam diminuir os danos desse evento (ROCHA; SOARES, 2015) e vale nos questionar o quanto já foi feito em relação a isso. Dessa forma, apesar da ligação entre variáveis climáticas e saúde

---

<sup>1</sup> E o presente também. Lembremos <<http://berkeleyearth.org/may-2020-temperature-update/>>. Acesso: 13 de jun. 2020.

humana como já demonstrado, um fator que pode se opor as limitações geográficas locais são as políticas públicas e instituições concretas e atuantes. Por exemplo, a redução de esgoto à céu aberto e do descarte incorreto de resíduos sólidos de 100% para zero reduziria a probabilidade de ocorrência de desastres ligados à chuva em 6,1 e 15,5 pontos percentuais, respectivamente (ALBUQUERQUE SANT'ANNA, 2018). Ainda segundo Sant'Anna (2018), uma cobertura florestal de 80% garantiria a não ocorrência desse tipo de desastre. Portanto, mais do que características geográficas, um Estado inoperante é o principal causador de pobreza, desastres e problemas de saúde.

Embora muitas vezes seja negado por autoridades, o meio ambiente e suas modificações afetam a saúde humana de diversas formas e a necessidade de acumulação de capital e o confronto intergeracional podem obscurecer esse pensamento e dificultar ações de mitigação.

O que este trabalho busca é, portanto, ajudar a compreensão de como a temperatura acima da média histórica pode afetar a saúde através de diversos caminhos, sistematizados de forma mais descritiva no próximo capítulo. É necessário projetar a transmissão e comportamento de doenças relacionadas às mudanças climáticas, e a econometria pode ajudar na identificação de relações entre variáveis sociais, econômicas, biológicas e, como aqui proposto, ambientais.

## ***1.2 - Economia, Meio Ambiente e Clima***

Antes da próxima seção, entretanto, é importante ressaltar o que a economia (mais especificamente a econometria) pode somar ao debate ambiental e climático. Ademais, esse debate é importante para legitimar este trabalho e mostrar como a avaliação da temperatura nas ações humanas não é trivial. Embora os estudos sobre essa interação (meio ambiente e econometria) ainda estejam se aprofundando, já é possível acrescentar informações interessantes quando aplicado de forma correta.

Historicamente, a relação entre meio ambiente e saúde foi estudada pelas ciências naturais, mas é importante mencionar o papel do economista em fornecer inferência causal e somar a esse campo. Zivin e Neidell (2013) citam três contribuições de economistas ao campo. Primeiro, economistas levam em conta a não aleatoriedade das variáveis ambientais; segundo, levam em conta também a adaptação, devido comportamento otimizador e, por último, mensuram relações que não as usuais com a saúde, muitas vezes observando efeitos indiretos. Não obstante, o trabalho de quantificar economicamente as consequências do aquecimento



global é árduo mas importante para se pensar políticas de mitigações e desenvolvimento (KOLSTAD; MOORE, 2020).

Embora seja um objeto de pesquisa complexo para se aprofundar no tempo e espaço disponíveis em trabalho final de graduação, é interessante mencionar as diversas formas para a quantificação supracitada e alguns dos seus pontos positivos e negativos. Ainda que seja um campo em desenvolvimento e expansão, é importante perceber que existem múltiplas formas de aproximar os conceitos advindos da economia aplicada ao âmbito do meio ambiente e nenhuma foi definida vencedora por enquanto.

A fim de estudar variações climáticas, alguns conceitos precisam ser esclarecidos. *Clima* é uma medida/distribuição de longo prazo. *Tempo* é a variação dentro dessa distribuição, para um dado tempo e espaço. Ou seja, como temperatura, chuva, ventania etc., variam de forma relativamente aleatória e essa aleatoriedade depende da distribuição do clima da região, com choques de tempo (isto é, meteorológicos) podemos obter *insights* do clima e suas mudanças para uma dada localidade, com auxílio de efeitos fixos. Dessa forma, através das partes (tempo), tentamos identificar os padrões do todo (clima). Portanto a mudança climática é a mudança dessa distribuição de probabilidade (clima) de onde as variáveis meteorológicas são retiradas (KOLSTAD; MOORE, 2020).

Como levantado por Kolstad e Moore (2020), inicialmente a quantificação dos danos ambientais na economia era mensurada setorialmente. Utilizava-se modelos com dados de corte transversal para mensurar os efeitos do clima na variável de interesse. De forma geral, esse método é indicado ao analisar efeitos de longo prazo, em que é possível adaptação. Seu problema maior é a dificuldade em captar variáveis omitidas (HSIANG, S. M.; BURKE; MIGUEL, E., 2013).

Para trabalhos mais recentes, a base para análises é com estatísticas utilizando dados históricos, com informações sobre espaço e tempo (dados em painel). Dessa forma, parte da literatura mais recente utiliza choques de tempo (mudança de curto prazo) como aproximação para variação climática (longo prazo) (DELL; JONES, B. F.; OLKEN, 2014). Como inclui muitos dados individuais para tempo e espaço, é possível controlar para variáveis não observáveis e elevar a confiança do efeito do clima na variável de interesse. Ainda, esse tipo de mensuração é mais indicado para quando não há muitas possibilidades de adaptação ou mensurações de curto prazo (KOLSTAD; MOORE, 2020), como é o caso da saúde.

Assim sendo, de forma geral, o trabalho aqui apresentado utiliza a metodologia de dados em painel, com algumas adaptações. A aplicação do método aqui apresentado é explicada na Seção 3 do trabalho.

## CAPÍTULO II – DADOS E ESTATÍSTICA DESCRITIVA

### II.1 – Dados

Todos os dados sobre saúde, mais especificamente internações diárias, foram obtidos diretamente do DATASUS, a base de dados do SUS, para o período de 2004 até início de 2020. Mais especificamente, usou-se Informações de Saúde (TABNET), o qual fornece as informações sobre saúde para todo o país<sup>2</sup>. Todos os dados foram, posteriormente, tratados e acoplados utilizando RStudio e montaram-se bases de internação mensais do SUS com Stata. Já a base populacional anual por município foi coletada do IBGE.

Com ela, foi possível obter internações por cem mil habitantes, para cada município do país, como na equação (1) abaixo, para as doenças de interesse:

$$taxa\_internação_{itd} = \frac{100.000 \times internação_{imad}}{h_{ia}} \quad (1)$$

No numerador,  $internação_{itd}$  é variável de total de internações pela doença  $d$  no município de residência  $i$  do paciente internado, no mês  $m$  do ano  $a$ ; no denominador temos  $h$ , indicando a população e  $taxa\_internação_{itd}$  a variável que nos interessa na análise. Vale notar que enquanto o DATASUS fornece informações diárias a qual agregamos de forma mensal, a população por município é uma estimativa por ano, assim, para todos os meses de um mesmo ano para um dado município, dividiu-se pela mesma população.

Dessa forma,  $taxa\_internação_{itd}$  representa as internações por cem mil habitantes, onde  $t$  denota mês por ano (mês/ano),  $d$  a doença de interesse e  $i$  o município de residência do paciente, não necessariamente onde o mesmo foi atendido.

É importante mencionar o risco de subnotificação do DATASUS, principalmente para os municípios menores, podendo gerar viés (SOUZA *et al.*, 2013), especialmente quando há surtos de doenças, e há variação da qualidade de notificação do SUS (AZEVEDO, DE; LORENZ; CHIARAVALLI-NETO, 2020), ainda mais levando em consideração o

---

<sup>2</sup> Para mais informações, acessar <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=02>>. Acesso em: 15 de out. 2020.

sucateamento da saúde pública. De qualquer maneira, é uma fonte que abarca todos os municípios do país para um grande período, sendo a melhor opção disponível.

Para temperatura utilizamos a base *Terrestrial Air Temperature: 1900-2017 Gridded Monthly Time Series (V5.01)* e para precipitação utilizamos a base *Terrestrial Precipitation: 1900-2017 Gridded Monthly Time Series (V 5.01)* (WILLMOTT, C.; MATSUURA, K., 2017). Ambas as bases fornecem dados mensais entre 1900 até 2017 para todo o globo. Esse período de 117 anos de análise é importante para observar a distribuição do clima de longo prazo para as regiões, como mencionado na seção anterior e, com variação de curto prazo, estimar variações nessa distribuição devido ao aquecimento global. A temperatura está mensurada em graus celsius e a precipitação em milímetro.

As bases de dados supracitados fornecem os dados com sua latitude e longitude, com grids de 0.5 grau por 0.5 grau. Para conversão em município, usamos o software Stata, buscando o município brasileiro com o centroide mais próximo da coordenada, utilizando distância geodésica<sup>3</sup>. A tabela dos municípios com suas coordenadas também foi obtido via IBGE.

Conseguimos, assim, dados para todos os municípios brasileiros embora de forma aproximada. Como os centros meteorológicos são limitados, em alguns casos municípios diferentes possuem a mesma mensuração de temperatura, no caso de serem ambos próximos de um mesmo centro. Ainda temos o caso oposto: vários municípios sem nenhuma estação muito próximas, onde optamos por ligar à estação meteorológica mais perto. Ou ainda, casos de municípios com diversos centroides. Ainda assim, é a única base de dados com temperatura e precipitação para cada cidade para um período tão longo como o aqui proposto.

Posteriormente, geramos a média histórica para ambas as variáveis (temperatura e precipitação) e seus desvios padrões históricos, para cada mês  $m$  e município  $i$ . Depois, calculamos o desvio dessa média, subtraindo os valores mensais de cada ano  $a$  pela média histórica desse mês e dividimos pelo desvio padrão histórico do mesmo, como na equação abaixo, para ambas as variáveis de choque. Assim,  $t$  representa mês x ano. A equação (2) sintetiza o processo e pode ser observada abaixo:

$$DesvTemperatura_{it} = \frac{Temperatura_{ima} - MediaHistoricaTemp_{im}}{DesvPadraoHistoricoTemp_{im}} \quad (2)$$

---

<sup>3</sup> Que é, resumidamente, a menor distância possível entre dois pontos, respeitando a curvatura da Terra

Por fim, mantivemos só os dados a partir de 2007, uma vez que esse é o recorte de análise do trabalho.

Portanto, mesmo que as mensurações da temperatura e precipitação não sejam tão precisas [por exemplo, há diferenças entre temperaturas fornecidas pelo Sistema de Informações Ambientais Integrado a Saúde (SISAM) e pelo Terrestrial Air Temperature (TAT)], o que nos interessa é o desvio em relação à média.

Obtivemos, ainda, concentração de PM<sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), sendo os dados obtidos pelo SISAM do INPE, de 2000 até 2019. Os dados são diários e para cada dia são feitas 4 medidas, em 4 horários diferentes. Optamos por tirar a média mensal de cada município para a variável de poluição ambiental.

Sintetizando, o período de análise é de 2007 até 2017, uma vez que os dados de temperatura e precipitação supracitados só vão até 2017 mesmo que as outras bases de dado sejam mais atualizadas.

## ***II.2 – Doenças:***

As doenças escolhidas para análise foram arboviroses (dengue e malária), doenças cardiovasculares e respiratórias e diabetes. A escolha dessas doenças em específico deu-se de acordo com a literatura e abaixo apresentaremos uma revisão da mesma em conjunto com as razões motivaram a seleção de tais enfermidades em específico.

Para identificá-las nos dados do SUS, observamos a Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados com a Saúde (CID) em sua versão última, a décima. O CID é um código universal composto por até 4 dígitos e que informa o motivo da internação de um dado paciente (WHO, 2016), o qual é adotado pelo SUS na sua base de dados, o DATASUS, para classificar os óbitos e internações dos pacientes.

### ***II.2.1 – Arboviroses***

Arboviroses são viroses hospedadas em artrópodes, desde mosquitos até barbeiros (*Triatoma infestans*). Essas arboviroses são transmitidas por artrópodes hematófagos (LOPES; NOZAWA; LINHARES, 2014), ou seja, que se alimentam de sangue. Para as doenças transmitidas por artrópodes, como algumas que aqui serão analisadas, há duas formas de modelagem de transmissão. Pode-se examinar os parâmetros epidemiológicos, como período de crescimento, taxa de transmissão etc., feito de forma majoritária em laboratório. A outra

opção é a aqui utilizada, procurando correlações através de métodos estatísticos, principalmente para o longo prazo, em que pode-se estudar o vetor ou doenças (TJADEN *et al.*, 2018), para uma dada distribuição geográfica.

Há diversas causas do desequilíbrio ambiental e crescimento de arboviroses, dentre elas há as mais diretas e claras como desmatamento, migração humana, mineração etc., mas há ainda uma ligação entre arboviroses, elevação da temperatura e precipitação média, sendo esta responsável pela transmissão de muitas doenças parasitárias limitadas ao período chuvoso. Referência?

Além disso, a chuva gera locais de reprodução do mosquito (poças de água, por exemplo) e aumenta a umidade, o qual aumenta o período de vida dos vetores (PATZ *et al.*, 2000) (HUANG, F. *et al.*, 2011). Por outro lado, já mostrou-se uma relação negativa entre elevação umidade e transmissão da dengue (XIANG *et al.*, 2017) portanto é preciso entender como essa relação ocorre no caso brasileiro.

O aumento de temperatura pode elevar a taxa de reprodução dos insetos hematófagos e, conseqüentemente, o aumento da demanda por alimento. Não obstante, a elevação da temperatura aumenta a velocidade de replicação dos agentes patogênicos, elevando o risco de o inseto estar infectado, e, por conseguinte, aumentando chance de infecções em seres humanos (GONZÁLEZ-TOKMAN *et al.*, 2020). Outra questão é a opção de vestimenta em países tropicais, caracterizada por cobrir menos partes do corpo do que em países mais frios e, portanto, aumenta a exposição para insetos, como como mosquitos hematófagos (ZHANG, Y.; BI; HILLER, 2010).

Ainda, se o clima é muito frio, o vírus desenvolve-se mais lentamente e os mosquitos têm menos chance de sobreviver. Estima-se que, devido ao aumento de temperatura, até 2085, entre 50-60% da população mundial correrá risco de transmissão de dengue, o que representa um aumento substancial aos 35% caso não houvesse aumento de temperatura (HALES *et al.*, 2002). Por outro lado, altas temperaturas elevam a taxa de mortalidade do mosquito o que pode gerar uma relação dúbia entre aquecimento global e aumento da doença. Por isso diz-se que a relação entre temperatura e dengue possui formato de U invertido. Assim, casos de dengue diminuem quando a temperatura ultrapassa os 32,9 graus (XIANG *et al.*, 2017), sendo a média um possível preditor do caminho dessa curva (HII *et al.*, 2012).

Devido à elevação da temperatura os mosquitos podem, ainda, aumentar seu espaço geográfico de atuação (migrando para novas localidades) e elevar a intensidade de transmissão de doenças (SOUZA *et al.*, 2013), elevando riscos para populações em regiões não endêmicas.

Estima-se que 228 milhões de pessoas tiveram malária em 2018 no mundo e 4.050.00 morreram devido à doença (WHO, 2019), mostrando como a malária ainda é atual e evidenciando a necessidade da relação aqui estudada.

A migração de seres humanos é o principal fator de dispersão de alguns arbovírus para áreas antes não habitadas. Por exemplo, estima-se que migração é o fator crítico para expansão da Doença de Chagas (LIDANI *et al.*, 2019). Por isso, para conter a proliferação de arboviroses, é preciso estabelecer controle acerca da saúde dos migrantes]. Mas também é necessário observar como a elevação de temperatura e a precipitação podem afetar a ação desse tipo de doença. Estima-se que variação de temperatura possui uma ligação forte e mundial com malária, embora o mesmo não possa ser dito sobre outras arboviroses, com possível forte ligação socioeconômica (SMITH, K. R. *et al.*, 2015)

É importante notar que a conexão entre clima e arboviroses é complexa, e o controle de certas doenças pelo sistema de saúde não é o suficiente. Por essa razão, pesquisas aplicadas são de grande importância na redução dos danos causados pela proliferação ou aumento de arboviroses advindo das ações humanas no clima mundial (CAMPBELL-LENDRUM *et al.*, 2015).

Parte da literatura negam a ligação entre transmissão de malária e variáveis climáticas como chuva e temperatura, que são analisadas o foco desta monografia. Esses estudos propõem que a ascensão dos casos de malária deu-se por erros no controle da doença e resistência aos medicamentos (HAY *et al.*, 2002).

Há, de forma sucinta, efeito de temperatura e chuva, do seu tempo de vida a tempo para eclosão dos ovos de mosquitos. O *Aedes aegypti* (mosquito transmissor da dengue) é sensível a temperatura máxima e mínima, ou seja, aguenta uma certa banda de temperatura, (MEENA, 2020). O que deve ser levado em consideração uma vez que uma temperatura acima de sua faixa de sobrevivência pode acarretar, na verdade, na diminuição nos casos. Por exemplo, a sobrevivência do *Aedes aegypti* cai para 67% quando a temperatura da água está em 35 graus e é reduzida a zero quando 40 para cima, embora a disponibilidade de comida seja mais influente que a temperatura (TUN-LIN; BURKOT; KAY, 2000).

Por fim, artigos mais recentes indicam como correta a hipótese de relação entre temperatura e arboviroses, que será aqui testada. Precisamente, 72% dos estudos analisados encontraram relação estatisticamente significativa entre mudanças climáticas e transmissão de doenças por mosquitos (BAARSCH *et al.*, 2020).

Especificamente, as arboviroses e seus códigos CID-10 estudados aqui foram: Dengue (A90 e A91) e Malária (começo B50, B51, B52, B53, B54).

### ***II.2.2 – Doenças Cardiovasculares e Respiratórias e Diabetes:***

De forma resumida, a resposta do corpo ao aumento da temperatura é o aumento da circulação cutânea do sangue (10% do sangue em situação normal e entre 50-70% quando exposto a calor), que pode falhar quando o aumento de temperatura é acima da faixa de tolerância normal<sup>4</sup> ou há desidratação, levando a morte. Dessa forma, a taquicardia é a causa de morte mais comum quando há elevação de temperatura nos EUA, por exemplo (MCGEEHIN; MIRABELLI, 2001). A termorregulação pode falhar se o paciente já possui algum problema no coração, ou seja, a resistência térmica em pacientes com problema de coração pode ser menor que a de um paciente saudável (CUI, J. *et al.*, 2005). Outro ponto a se mencionar mencionável é a ligação entre o aumento de temperatura ambiente e a elevação de certos indicadores como a proteína c-reativa (CRP) e peptídeo natriurético cerebral (BNP), associados a mortalidade por doenças cardíacas (WILKER, 2012).

Dias quentes e a tensão dos mesmos no corpo humano também eleva o número de mortes por doenças respiratórias (SOUZA *et al.*, 2013). Para o sistema circulatório, Souza *et al.* (2013) identificam uma elevação na taxa de mortalidade anual quando a temperatura média é acima de 27 graus, embora a o aumento da taxa seja menor do que quando a temperatura média é baixa. Normalmente os óbitos acontecem no começo do verão, quando não houve período de costume para o corpo (PATZ *et al.*, 2005). Pode-se supor que esse processo ocorre principalmente em áreas não tropicais, onde há variação maior entre as estações.

Ainda sobre doenças respiratórias, secas estão associadas a internações pela mesma. Há pico de elevação na hospitalização de crianças com menos de cinco anos, para localidades da

---

<sup>4</sup> Entre 18 e 22 graus celsius (HEAL; PARK, 2016) para um região temperada mas é pode-se supor que esta faixa confortável varie de acordo com a região observada. Um siberiano não gostaria de ficar um dia médio no Sertão e vice-versa.



Amazônia Legal, por conta de doenças respiratórias em períodos de seca, devido a aerossóis e incêndios (SMITH, L. T. *et al.*, 2014).

Mortes causadas por ondas de calor são ligadas, também, a doenças cerebrovasculares e respiratórias, com ênfase em pessoas com doenças pré-existent (HAINES, Andy; PATZ, 2004). A mortalidade por diabetes é associada a temperaturas altas e baixas (YANG; YIN; ZHOU, M.; OU; LI, M.; LIU, Yunning; *et al.*, 2016).

Crimes violentos, incluindo homicídios e suicídios também são associados a ondas de calor nos EUA (MCGEEHIN; MIRABELLI, 2001) e México (BURKE *et al.*, 2018). Utilizando a metodologia aqui apresentada, Burke *et al.* (2018) mostram como a relação entre temperatura e suicídio é linear, onde a queda da temperatura ajuda na diminuição dos suicídios. Um aumento em 1 grau aumenta a taxa de suicídio em 0,68% nos EUA e 2,1% no México, embora a ligação biológica entre temperatura e suicídio ainda não seja tão clara.

Ainda sobre doenças circulatórias, já foi mostrada uma ligação entre temperatura e derrames na China, sendo 14,5% dos derrames advindos de choques de temperatura (embora 90% seja por queda da mesma e apenas 10% por elevação da temperatura), persistindo até 14 dias depois do choque (YANG; YIN; ZHOU, M.; OU; LI, M.; LI, J.; *et al.*, 2016). Os autores apontam que não se trata de uma relação linear, e a curva de mortalidade costuma ter um formato de U ou V. O presente trabalho analisou as seguintes doenças (códigos CID-10 entre parênteses): Doenças Respiratórias (entre J00 e J99); Doenças no sistema Circulatório (entre I00 e I99); Diabetes de diversos tipos (começo E10, E11, E12, E13, E14).

### **II.3 – Idades**

A faixa de idade é um fator importante na definição de sua possibilidade de adaptação a variações climáticas. Idosos, por exemplo, têm mais dificuldade em lidar com um estresse térmico pelo seu mecanismo de regulação de calor reduzido, e mais chance de falha no coração (MCGEEHIN; MIRABELLI, 2001). Ainda, índices de morte em idosos são maiores em meses mais frios e em meses mais quentes (ARONOW; AHN, 2004) (GEIRINHAS *et al.*, 2020) (BULL; MORTON, 1978). Dessa forma, idosos são suscetíveis à morte por doenças respiratórias e cardíacas em ambiente mais quente, embora os motivos que fazem deles grupo de risco precise ser aprofundado, uma vez que há risco de ser encontrado em pessoas mais novas também (LEYVA; BEAMAN; DAVIDSON, 2017) .

Crianças também são afetadas por mudanças na temperatura. A taxa de mortalidade de crianças aumenta quando há elevação da temperatura (MCGEEHIN; MIRABELLI, 2001) pela menor capacidade destes indivíduos de se adaptar ao calor.

Alguns pesquisadores afirmam que ondas de calor antecipam a morte de pessoas já em risco (HAINES, Andy; PATZ, 2004), em alguns dias ou semanas, no denominado “efeito antecipação” (SOUZA *et al.*, 2013). De forma geral, crianças pequenas e idosos compõem o grupo de risco (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2019). Para pessoas com mais de 75 anos, Nicholls (2009) conclui (embora utilizando um método bem diferente do aqui apresentado) que um aumento de 2 graus aumentaria a taxa de mortalidade em 2,6% para Nova Iorque (NICHOLLS, 2009). Souza mostra ainda que recém nascidos, para o caso brasileiro, são os mais expostos a mortes causadas por uma variação na temperatura. Idosos também são mais vulneráveis a chuvas, em parte, pela sua menor possibilidade de locomoção e pela vulnerabilidade maior a doenças trazidas pelo evento (SMITH, K. R. *et al.*, 2015).

Com diferentes faixas etárias, podemos analisar de forma mais precisa quem são os principais afetados pela variação ambiental. Assim, optamos por adotar a incidência das doenças analisadas para as seguintes faixas de idade: recém-nascido até 1 ano; entre 1 ano e 6; entre 6 e 14 anos; entre 15 e 29; entre 30 e 59 e mais que 6.

#### ***II.4 – Estatísticas Descritivas***

A subseção que se segue tem como intuito fornecer informações e visualização sobre os dados utilizados no estudo.

A Tabela 1 resume os dados principais aqui utilizados. O máximo desvio de precipitação foi de 7,32 milímetros, enquanto sua média foi 0,88, próximo de zero, como é de se esperar. A mesma relação para média de temperatura é válida, embora seu desvio máximo seja maior (7,528 graus).

Tabela 1 – Estatísticas descritivas gerais, 2007-2017

Variáveis	Número de observações	Média	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Máximo
Dengue (por mil habitantes [pm])	729.493	3,464	19,043	0,000	2.214,930
Malária (pm)	729.493	0,156	2,061	0,000	239,882
Circulatórias (pm)	729.493	56,152	47,986	0,000	2.242,346
Respiratórias (pm)	729.493	76,484	78,867	0,000	2.040,073
Diabetes (pm)	729.493	7,830	12,835	0,000	324,901
Desvio de Temperatura	730.162	0,887	1,088	-4,802	7,321
Desvio de Chuva	730.162	0,056	1,004	-3,416	7,529

Fonte: Elaboração Própria a partir de (i) IBGE; (ii) DataSUS; (iii) The TAR and TP: 1900-2017 Gridded Monthly Time Series, Version 5.01; (iv) SISAM-INPE

É latente como as doenças circulatórias e respiratórias são as que mais afetam a população brasileira. A média de internações por doenças circulatórias, por exemplo, foi de 56,152 por cem mil habitantes, chegando num pico de 2242,35. Assim, é observável como há uma diferença ululante entre as doenças. Uma explicação é a maior concentração geográfica de dengue e malária, além da situação preocupante brasileira no que se refere a doenças cardíacas e circulatórias<sup>6</sup>. É notável, também, como há meses sem nenhuma internação pelas doenças em questão.

Existe grande heterogeneidade geográfica e temporal na incidência das doenças e das variáveis ambientais, além de auxiliar no entendimento das ordens de grandeza. A Figura 1 (gráfico *facet*) mostra a variação mensal de internação de doenças circulatórias, diabetes e respiratórias, por região do país. Fica claro a maior quantidade de casos nas regiões Sudeste e Nordeste, e a sazonalidade das internações (para uma comparação por regiões, ver Figura I do Apêndice). Para o Nordeste, Norte, Centro-Oeste e Sudeste, há um pico de internações respiratórias entre maio e junho. Já no Sul, esse pico acontece entre julho e agosto. De qualquer forma, o ápice das internações das doenças circulatórias e respiratórias parece ser no inverno, talvez pelos maiores danos causados pelo frio, como será analisado no Capítulo IV.

<sup>6</sup> 24,7% da população brasileira é hipertensa, com 49,5% para pessoas entre 55 e 64 anos. <<https://www.saude.gov.br/noticias/agencia-saude/45446-no-brasil-388-pessoas-morrem-por-dia-por-hipertensao>>. Acesso em: 1 de ago. 2020.

Figura 1 – Internações mensais por doenças circulatórias, respiratórias e diabetes, por região, 2007-2018.

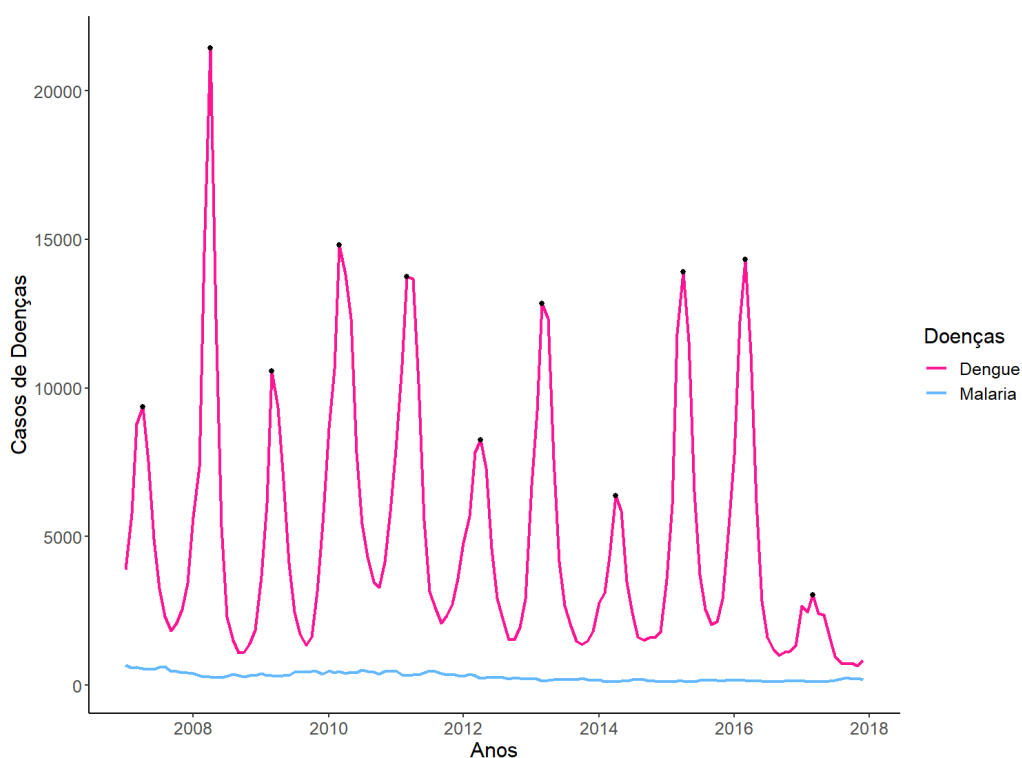


Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados fornecidos pelo SUS.

Para todas as regiões há um vale grande após o pico, concentrado no começo do ano (verão). Também é observável a menor proporção de internação por diabetes, uma vez que é menos geral que as outras duas, embora seja mais constante por todo o ano, assim como as internações por doenças circulatórias.

A Figura 2 mostra a variação mensal de internações por dengue e por malária, de 2007 até 2017. Os pontos pretos indicam os picos de internação por dengue, que acontecem entre abril e maio. Já os vales de casos de dengue são no fim do ano, entre novembro e dezembro. Já malária não parece apresentar um padrão, talvez pela quantidade menor de casos acontecendo no país.

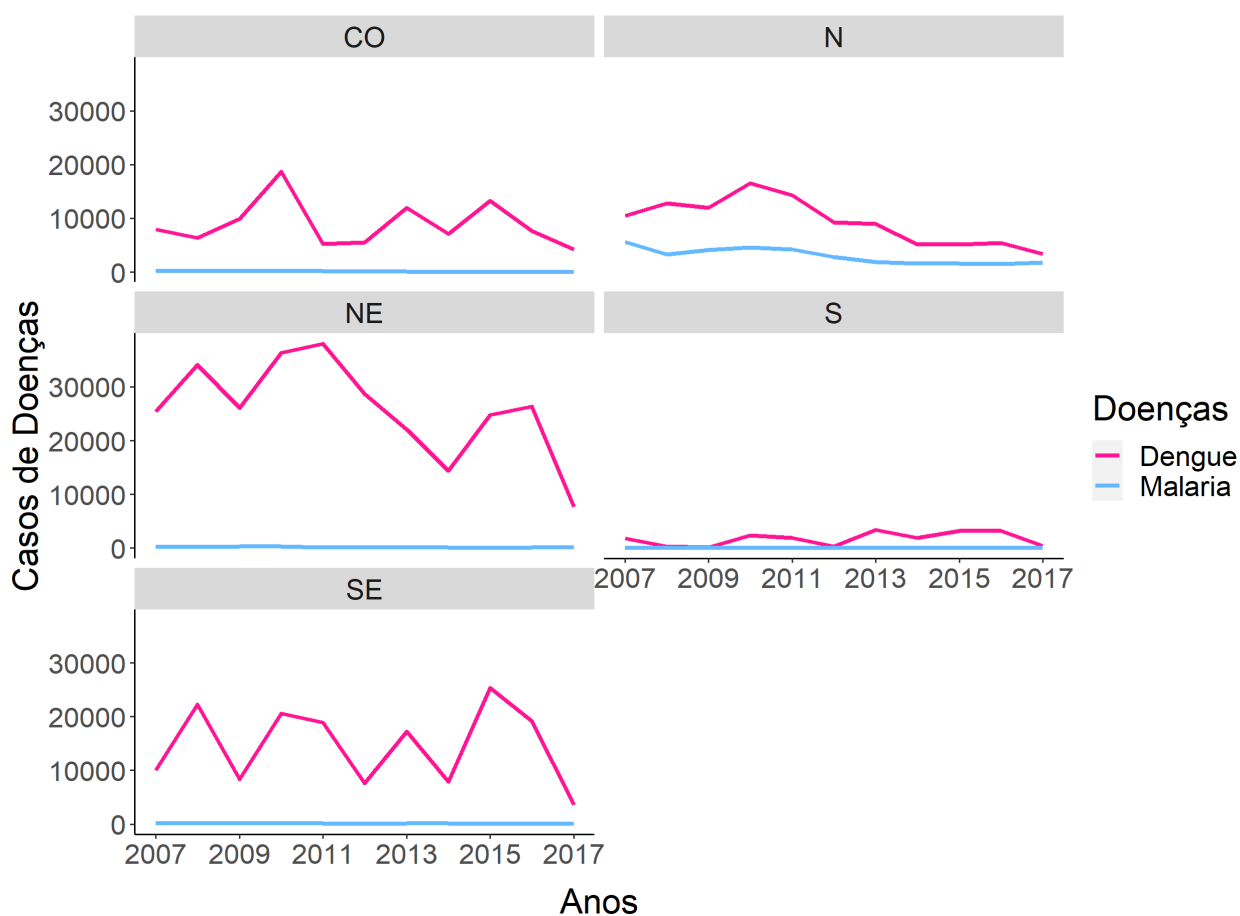
Figura 2 – Internações mensais por dengue e malária, 2007-2017



Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados fornecidos pelo SUS.

A Figura 3 apresenta as informações por região. O Nordeste é a região com mais surtos de dengue, uma situação que pode vir a mudar com o aquecimento global (AZEVEDO, DE; LORENZ; CHIARAVALLLOTI-NETO, 2020)]. Mas a incidência de dengue no Sudeste possui valores próximos. A incidência de malária concentra-se na região Norte. Fica claro, portanto, que a incidência de ambas as doenças depende diretamente da localização geográfica e fatores socioeconômicos.

Figura 3 – Internações anuais por dengue e malária, por região, 2007-2017



Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados fornecidos pelo SUS.

Quando observamos a incidência relativa (taxa por cem mil habitantes), as regiões Centro-Oeste e Norte pulam para liderança (ver Apêndice). As regiões Sul e Sudeste apresentam uma baixa concentração de ambas as doenças.

A Tabela 2 sintetiza os resultados. Fica clara a diferença de grandeza de doenças como malária em comparação a dengue, mesmo que ainda seja em alta quantidade. O mesmo vale para diabetes em comparação a doenças respiratórias e circulatórias.

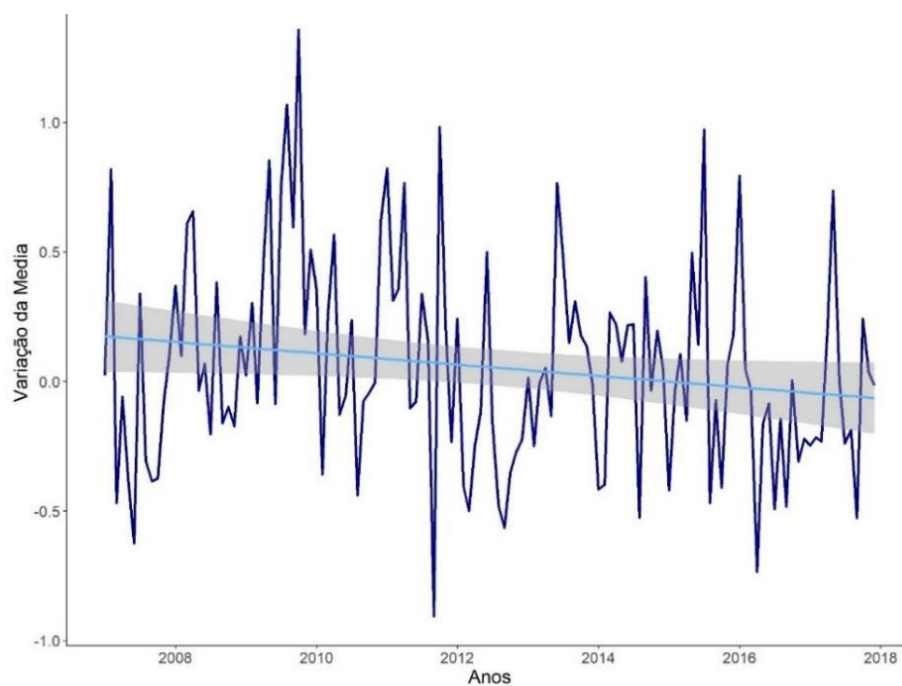
Tabela 2 – Casos totais das doenças analisadas por ano, 2007-2017

	Dengue	Malária	Respiratórias	Circulatórias	Diabetes
2007	55.754	6.507	1.542.809	1.155.075	123.563
2008	75.935	3.758	1.388.442	1.097.016	131.876
2009	56.426	4.690	1.528.388	1.125.006	140.517
2010	94.572	5.351	1.444.867	1.146.105	147.413
2011	78.385	4.710	1.399.869	1.149.425	147.459
2012	51.442	3.197	1.304.187	1.125.545	141.230
2013	63.660	2.274	1.308.054	1.123.724	139.724
2014	36.523	1.812	1.239.251	1.132.604	138.684
2015	71.824	1.773	1.198.712	1.112.554	137.096
2016	61.842	1.705	1.147.131	1.110.711	126.991
2017	19.248	2.063	1.177.169	1.122.727	131.035

Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados fornecidos pelo SUS.

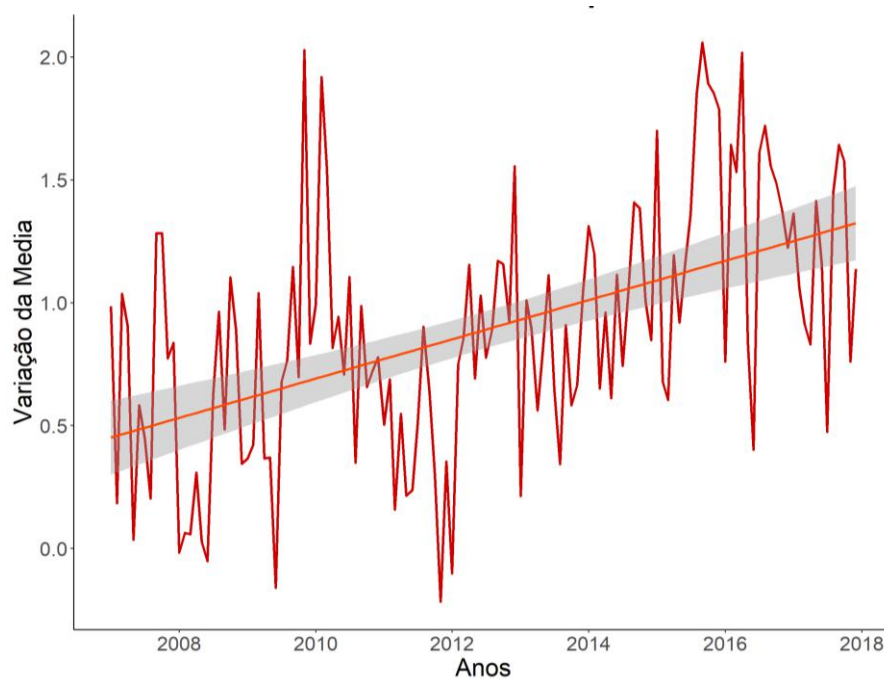
As variáveis ambientais(chuva e temperatura) também influenciam a incidência dessas doenças. A Figura 4 mostra o desvio médio da precipitação no período analisado, estimado pela média dos desvios para todos os municípios do Brasil. O intervalo de tempo é, como para todos os gráficos, entre 2007 e 2017. A tendência é feita com uma regressão linear simples. Há uma clara direção de queda nos choques de precipitação positivos para o Brasil. Não obstante, é latente a grande variação na série histórica, que mostra o quão frequentemente o país é afetado por secas e chuva extremas. Podemos traçar um paralelo, então, com a Figura 5 que mostra como os choques de temperatura são cada vez mais positivos para o período analisado. Ou seja, cada vez mais as temperaturas estão acima da média histórica. Sua forma de cálculo foi similar à usada para a Figura 4, com uma média dos desvios de temperatura de todos os municípios do país. De forma geral, há uma tendência ao aquecimento. O Apêndice apresenta gráficos facet de região para as mesmas variáveis ambientais, com intuito de possibilitar comparações.

Figura 4 – Média do desvio mensal de precipitação, 2006-2017



Fonte: Elaboração Própria a partir do TP: 1900-2017 Gridded Monthly Time Series (V 5.01).

Figura 5 – Média do desvio mensal de temperatura, 2007-2017



Fonte: Elaboração Própria a partir do Terrestrial Air Temperature: 1900-2017 Gridded Monthly Time Series (V 5.01).



## CAPÍTULO III – METODOLOGIA

Um teste de tratamento ideal é pegar duas populações idênticas e tratar aleatoriamente uma e manter a outra igual, comparando a diferença entre elas no final. No entanto, no que se refere a ciências sociais e sua interação com o meio ambiente, não é possível fazer esse tratamento, haja vista as imensas diferenças entre quaisquer populações e influências que recebem durante o tempo (HSIANG, S., 2016).

Portanto, o método aqui utilizado foi de regressão em painel com efeito fixo, empregando o método de MQO, como já apresentado na Seção 1. Existe uma ampla literatura na qual nos baseamos para escolha do método, mas a base pode ser encontrada em Dell *et al.* (2014), da forma aqui descrita, e pode-se encontrar de forma mais aprofundada na fonte original. Não obstante, outros artigos usaram métodos similares, com o intuito de captar o efeito de clima na saúde populacional, como Soares *et. al* (2016).

A ideia é que as informações sobre o tempo são relativamente aleatórias, mas inseridas na classificação do clima de uma dada região. Dessa forma os choques meteorológicos indicam pistas para a caracterização do clima local. Ainda, como visto na Seção 2, tratamos nossas variáveis ambientais com intuito de retirar tendências e variações intrarregionais, utilizando uma série histórica para cada município.

Assim, condicional aos efeitos fixo (de espaço e de tempo) e controles, conseguimos avaliar o efeito do clima com choques meteorológicos. O efeito fixo de espaço absorve características fixas da localidade, não observáveis, ajudando a separar o choque de outras fontes de viés omitidas. Já o efeito de tempo neutraliza as tendências comuns e auxilia em garantir que as relações de interesse são identificadas via choques locais. Outro fator que contribui para a escolha da metodologia é a dimensão continental do Brasil, com diferentes tipos de bioma, o que pode atrapalhar a análise devido à heterogeneidade geográfica (LI, Y. *et al.*, 2014), mas que é captado pelos efeitos fixos municipais.

A variável dependente é a internação por cem mil habitantes das doenças analisadas, e as variáveis independentes são chuva e temperatura. Estas, por sua vez, são medidas pelo desvio em relação às respectivas médias, regredidos separadamente e posteriormente em conjunto. Alguns autores recomendam também a adição de estação do ano, porém a adoção de efeitos

fixos de mês x ano já é o suficiente para captar variações desse tipo. De qualquer forma, foi acrescentado o controle para poluição (PM2.5) em testes adicionais, seguindo a indicação de parte da literatura (BASU, R.; SAMET, 2002).

O modelo principal, que busca identificar a ligação entre temperatura e internação para diversas doenças, é descrito pela equação (3):

$$internação_{itd} = \beta_1 \times DesvTemperatura_{it} + \beta_2 \times DesvChuva_{it} + \delta_i + \theta_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

O modelo apresenta a relação entre internação por cem mil habitantes de uma doença  $d$ , no local  $i$  e no tempo  $t$ , com desvio de chuva e temperatura do local  $i$  e no tempo  $t$ . Os dois  $\beta$  serão analisados, das regressões, para cada doença de interesse  $d$ , o que mostra como as enfermidades são afetadas pelos desvios da média histórica de temperatura e chuva, ou seja, os choques.

A equação acima apresenta dois efeitos fixos. O efeito fixo para o município  $i$ , denotado por  $\delta_i$ , absorve as características que não mudaram no tempo, da região, e permite um relaxamento no que se refere a variáveis de controles omitidas que variam de acordo com as regiões mas mantêm-se constante no tempo (BARRECA, A. I.; SHIMSHACK, 2012). O outro efeito fixo é para o ano, denotado  $\theta_t$ , como já apresentado anteriormente, que controla para variações que ocorreram no tempo, mas para todas as regiões. São exemplos dessas, mudanças na constituição brasileira, um choque macroeconômico ou avanços tecnológicos no SUS (DESCÊNES; GREENSTONE, 2011), desde que distribuído de forma homogênea pelo país. Em uma terceira especificação, foi utilizado também um efeito fixo de unidade da federação/mês/ano. Esse efeito fixo permite que a comparação se dê entre municípios dentro de um mesmo estado.

Por fim, foram utilizados *cluster* nos erros para nível estadual (ou seja, “agrupamos” os erros para as Unidades Federativas), para evitar desproporções nos erros padrões e permitir correlação serial nos erros (BARRECA, A.; DESCÊNES; GULDI, 2018). Os resultados serão apresentados e interpretados no capítulo que se segue.

## CAPÍTULO IV - RESULTADOS

Esta seção apresenta, inicialmente, os resultados das regressões mais simples e gerais e, posteriormente, os da regressão principal (modelo), com os efeitos de fixos e controles, apresentados na seção anterior. Em seguida são apresentadas análises por coortes, para acrescentar mais robustez aos resultados. É importante que fique claro ao leitor que para todas as tabelas que se seguem os asteriscos indicam o nível de confiança do resultado sendo 1% representado por três asteriscos (\*\*\*), 5% por dois (\*\*\*) e 10% quando há apenas um asterisco (\*).

A Tabela 3 apresenta interações devido a arboviroses explicitadas na Seção 3, para cem mil habitantes do município. A primeira coluna analisa a relação entre a variável dependente (internação) e a variável independente (desvio de temperatura), com efeitos fixos de tempo e espaço para dengue (Painel A) e malária (Painel B). Nessa primeira regressão, há ligação entre temperatura e ambas as doenças. No caso, essa ligação é negativa para dengue e positiva para malária.

Tabela 3 - Internações Por Cem Mil Habitantes (para arboviroses), 2007-2017

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Painel A - Variável dependente: Dengue					
Temperatura	-0.190*** (0.0336)	-	-0.127*** (0.0352)	-0.116*** (0.0352)	-0.249*** (0.0384)
Chuva	-	0.236*** (0.0241)	0.197*** (0.0250)	0.187*** (0.0249)	0.0651** (0.0256)
EF Município	S	S	S	S	S
EF Ano	S	S	S	S	S
Controle	N	N	N	S	S
Observations	729,493	729,493	729,493	729,493	729,492
R-squared	0.158	0.158	0.158	0.158	0.173
Painel B - Variável dependente: Malária					
Temperatura	0.0219*** (0.00504)	-	0.0223*** (0.00536)	0.0223*** (0.00537)	0.0115** (0.00458)
Chuva	-	-0.00544 (0.00335)	0.00131 (0.00360)	0.00136 (0.00358)	-0.00128 (0.00329)
EF Município	S	S	S	S	S
EF Ano	S	S	S	S	S
Controle	N	N	N	S	S
Observations	729,493	729,493	729,493	729,493	729,492
R-squared	0.282	0.282	0.282	0.282	0.314

Fonte: Elaboração Própria a partir de (i) IBGE; (ii) DataSUS; (iii) The TAR and TP: 1900-2017 Gridded Monthly Time Series, Version 5.01; (iv) SISAM-INPE

O contrário ocorre para dengue na segunda coluna, onde relacionamos apenas chuva com internação. Nesse caso, o desvio de chuva eleva as internações por dengue em 0,236 por cem mil habitantes e de forma insignificante para malária.

Por fim, juntam-se ambas as variáveis explicativas na terceira coluna, com efeito fixo de tempo e espaço. De forma geral, as relações vistas nas colunas anteriores se mantêm. Temperatura afeta negativamente dengue e positivamente malária. Já choque de chuva afeta positivamente dengue e parece não afetar malária.

Não obstante, os sinais não se alteram quando adicionamos controles (poluição atmosférica, medida pelo valor máximo mensal de material particulado - PM 2.5), na quarta regressão.

Na última e principal regressão (5), é adicionada interação entre efeito fixo de tempo e *dummy* de unidade federativa. Para essa regressão, é possível ver que a temperatura mais elevada que o usual afeta negativamente a dengue e positivamente a malária. Pode-se supor que um choque de temperatura pode ultrapassar a faixa de sobrevivência do mosquito (MEENA, 2020), no caso do *Aedes aegypti*, levando à sua morte e, conseqüentemente, à diminuição do número de casos. O que não ocorre com o vetor da malária (*Anopheles*), segundo as regressões. Como visto anteriormente, a taxa de sobrevivência do mosquito da dengue tangencia zero quando a temperatura está acima de 40 °C (TUN-LIN; BURKOT; KAY, 2000).

A regressão 5 nos informa, portanto, que um desvio da média histórica da temperatura eleva as interações em 0,0115 para cem mil habitantes no caso de malária, ou seja, 7,38% da média, e diminui em 0,249 para dengue, uma queda de 7,18% da média da mesma.

Já para precipitação, o aumento de chuva leva a mais casos de dengue (0,0651 para cem mil habitantes), embora seja insignificante para malária. Como dito anteriormente, o aumento de chuva pode aumentar os locais de reprodução do inseto e aumentar seu período de vida (PATZ *et al.*, 2000) (HUANG, F. *et al.*, 2011). Uma suposição é que pela menor dispersão espacial da malária, não tão frequente nas cidades, uma elevação da precipitação não impacte tanto os focos do mosquito, como ocorre para dengue. Pelo senso comum, a luta contra dengue nas cidades se baseia em destruir os focos do *Aedes*, muitas vezes dentro do próprio terreno em que vivemos, focos esses que podem aumentar quando há uma elevação no nível de precipitação.

A outra via, contrastando com a do parágrafo anterior, é que a elevação de precipitação pode ter efeito negativo em dengue (devido ao aumento de umidade, derivado da chuva, que possui impacto negativo sobre o vetor da dengue), o que não foi observado, indo de encontro com outros estudos (XIANG *et al.*, 2017). No entanto, as relações entre temperatura e dengue coincidem com a literatura revisada.

Pode-se supor que, de fato, a incidência de dengue com relação a temperatura ocorre em U invertido (XIANG *et al.*, 2017), com casos extremos diminuindo a incidência da doença, como é observado na subseção 4.1.

A Tabela 4) analisamos os efeitos em internações para doenças circulatórias e respiratórias e diabetes, relacionados diretamente ao corpo humano, advindo das variações ambientais.

Tabela 4 - Internações Por Cem Mil Habitantes (para doenças circulatórias, respiratórias e diabetes), 2007-2017

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Painel C - Variável dependente: Circulatórias					
Temperatura	-0.256*** (0.0703)	-	-0.231*** (0.0756)	-0.226*** (0.0758)	-0.368*** (0.0744)
Chuva	-	0.148*** (0.0514)	0.0778 (0.0562)	0.0731 (0.0562)	-0.0597 (0.0525)
EF Município	S	S	S	S	S
EF Ano	S	S	S	S	S
Controle	N	N	N	S	S
Observations	729,493	729,493	729,493	729,493	729,492
R-squared	0.449	0.449	0.449	0.449	0.454
Painel D - Variável dependente: Respiratórias					
Temperatura	-1.936*** (0.137)	-	-2.116*** (0.150)	-2.100*** (0.151)	-2.245*** (0.148)
Chuva	-	0.0745 (0.0829)	-0.566*** (0.0966)	-0.582*** (0.0966)	-0.568*** (0.0846)
EF Município	S	S	S	S	S
EF Ano	S	S	S	S	S
Controle	N	N	N	S	S
Observations	729,493	729,493	729,493	729,493	729,492
R-squared	0.547	0.547	0.547	0.547	0.556
Painel E - Variável dependente: Diabetes					
Temperatura	0.0487** (0.0204)	-	0.0475** (0.0220)	0.0483** (0.0220)	0.0533** (0.0218)
Chuva	-	-0.0181 (0.0158)	-0.00370 (0.0173)	-0.00445 (0.0173)	0.0122 (0.0165)
EF Município	S	S	S	S	S
EF Ano	S	S	S	S	S
Controle	N	N	N	S	S
Observations	729,493	729,493	729,493	729,493	729,492

Fonte: Elaboração Própria a partir de (i) IBGE; (ii) DataSUS; (iii) The TAR and TP: 1900-2017 Gridded Monthly Time Series, Version 5.01; (iv) SISAM-INPE

Analisando a regressão 5 para doenças circulatórias e respiratórias, pode-se concluir que uma elevação das variáveis ambientais diminui as internações causadas por elas. Por exemplo, um desvio padrão acima da média histórica mensal de temperatura diminui a internação por cem mil habitantes em 2,245 para doenças respiratórias e 0,368 para doenças circulatórias (2,93% e 0,65% em relação à média, respectivamente). De forma geral, esse resultado contradiz a literatura aqui revisada, onde o aumento de temperatura e precipitação ocasionam mais internações. Talvez essa diferença seja causada pela falta de adaptação arquitetônica brasileira ao frio, que não acompanha choques de temperatura. Por exemplo, os tipos de cobertura das paredes e dos tetos das residências impactam diretamente o conforto térmico da população (SANTOS; PORTO; SILVA, 2020). Dessa forma, como grande parte do país se encontra em áreas de calor intenso, é possível que o tipo de cobertura mais comum seja construído para lidar com temperaturas elevadas, não adequado, assim, ao frio.

Não obstante, é importante notar, também, o papel das secas nas internações. Aqui, quanto mais chuva, menos internações há por doenças respiratórias. Como visto anteriormente, secas são um dos eventos extremos que causam mais danos à população. No caso brasileiro, um país pobre e com grandes períodos de seca, possa se beneficiar dos eventos de chuva para o alívio das condições respiratórias e circulatórias. Ainda, é importante lembrar que, como visto na Figura 4, há uma tendência de choques de seca no país, intensificando os danos aqui mencionados.

É fundamental notar também como a elevação da temperatura implica em mais internações por diabetes. Segundo o modelo, o desvio acima da média eleva as internações por cem mil habitantes em 0,0533 (apesar do menor grau de confiança), o que equivale a um desvio de 6,8% da média. O resultado está de acordo com a literatura revisada pelos autores, como ocorre no caso chinês (YANG; YIN; ZHOU, M.; OU; LI, M.; LIU, Yunning; *et al.*, 2016). Embora o estudo procure relação entre temperatura e mortalidade por diabetes, pode-se fazer essa conexão uma vez que a elevação de mortalidade é, invariavelmente, correlacionada à elevação de internações.

#### IV.1 – Efeitos não lineares

O próximo passo foi analisar os efeitos não lineares de temperatura sobre as doenças, buscando o efeito em forma de U; Ou seja, como extremos de calor e de frio afetam as internações causadas por elas.

Na Tabela 5 pode-se observar o desvio de temperatura e o desvio ao quadrado da mesma variável, controlado por precipitação com efeito fixo de município e efeito fixo para mês x ano, como apresentado no Capítulo 3 e utilizado na especificação 5 das tabelas acima.

Tabela 5 - Internações Por Cem Mil Habitantes (para efeito não linear de temperatura), 2007-2017

Variáveis	Dengue	Malaria	Respirat.	Circulat.	Diabetes
Temperatura	-0,295*** -0,0508	0,00902 -0,00693	-3,127*** -0,181	-0,350*** -0,0915	0,0755*** -0,0289
Temperatura^2	0,0206 -0,0166	0,00112 -0,00355	0,393*** -0,0509	-0,00819 -0,0282	-0,00991 -0,009
Chuva	0,0635** -0,0254	-0,00137 -0,00325	-0,600*** -0,0846	-0,059 -0,0525	0,013 -0,0165
EF Município	S	S	S	S	S
EF Ano	S	S	S	S	S
Controle	S	S	S	S	S
Observations	729,492	729,492	729,492	729,492	729,492
R-squared	0.173	0.314	0.556	0.454	0.221

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Fonte: Elaboração Própria a partir de (i) IBGE; (ii) DataSUS; (iii) The TAR and TP: 1900-2017 Gridded Monthly Time Series, Version 5.01; (iv) SISAM-INPE

Ao observar a Tabela 5, pode-se perceber que o único tipo de doença afetado de forma significativa por choques não linear de temperatura é o respiratório. Dessa forma, podemos concluir que ambos os choques de frio e de calor afetam as internações por esse tipo de enfermidade. Esse resultado vai ao encontro com a literatura de SOUZA *et al.* (2013) e com as relações estabelecidas nas especificações anteriores. Ainda, os resultados para chuva se assemelham aos encontrados nas tabelas anteriores.



#### ***IV.2 – Resultados por faixa etária***

Por fim, observa-se como as doenças atuam de acordo com coortes de idades.

A Tabela 6 mostra como as secas são capazes de afetar internações por doenças respiratórias para recém nascidos e crianças, indo ao encontro de estudos que mostram como os jovens são impactados por seca (HODDINOTT; KINSEY, 2001). Para ambos os grupos (Painel A e Painel B), um choque de seca provoca maior internação por doenças respiratórias (0,0858 para recém nascidos e 0,0733 para crianças entre 1 e 6 anos). Um choque de frio também eleva o número de doenças respiratórias para os três painéis, embora os recém nascidos sejam os mais impactados (elevação de 0,478 nas internações por cem mil habitantes).

Tabela 6 - Internações Por Cem Mil Habitantes (por doença analisada e abaixo de 15 anos), 2007-2017

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
	Dengue	Malaria	Respirat.	Circulat.	Diabetes
Painel A - Faixa de idade: 0 a 1 ano					
Temperatura	-0.00469** (0.00191)	-5.61e-05 (0.000529)	-0.478*** (0.0381)	-0.00114 (0.00333)	-0.00150 (0.00123)
Chuva	-0.000246 (0.00169)	0.000546 (0.000531)	-0.0858*** (0.0285)	0.00291 (0.00303)	-0.000569 (0.00113)
EF Município	S	S	S	S	S
EF Ano	S	S	S	S	S
Controle	S	S	S	S	S
Observations	590,123	590,123	590,123	590,123	590,123
R-squared	0.045	0.121	0.335	0.034	0.021
Painel B - Faixa de idade: 1 a 6 anos					
Temperatura	-0.0146*** (0.00362)	0.000599 (0.000688)	-0.185*** (0.0362)	-0.00312 (0.00276)	0.000932 (0.00149)
Chuva	-0.00291 (0.00293)	-0.000140 (0.000633)	-0.0733*** (0.0240)	-0.00140 (0.00237)	0.000311 (0.00143)
EF Município	S	S	S	S	S
EF Ano	S	S	S	S	S
Controle	S	S	S	S	S
Observations	507,408	507,408	507,408	507,408	507,408
R-squared	0.075	0.108	0.345	0.033	0.022
Painel C - Faixa de idade: 6 a 15 anos					
Temperatura	-0.0421*** (0.00825)	0.00197** (0.000926)	-0.229*** (0.0280)	-0.00264 (0.00427)	-0.00400 (0.00303)
Chuva	0.0121** (0.00599)	0.000736 (0.000879)	-0.0200 (0.0200)	-0.00114 (0.00384)	0.000131 (0.00282)
EF Município	S	S	S	S	S
EF Ano	S	S	S	S	S
Controle	S	S	S	S	S
Observations	568,865	568,865	568,865	568,865	568,865
R-squared	0.108	0.135	0.273	0.032	0.034

Fonte: Elaboração Própria a partir de (i) IBGE; (ii) DataSUS; (iii) The TAR and TP: 1900-2017 Gridded Monthly Time Series, Version 5.01; (iv) SISAM-INPE

A Tabela 7 busca identificar a relação entre variáveis ambientais e enfermidades para os adultos e idosos, parte do grupo de risco. Seguindo a análise da Tabela 6, a Tabela 7 nos

informa que os idosos são fortemente impactados por secas e choques de queda de temperatura no que se refere a doenças respiratórias. Para idosos, por exemplo, quando há choque de frio, a internação sobe em 0,918.

Posto isso, os adultos e idosos parecem ser mais afetados por choques negativos como ondas de frio e seca do que choques positivos, no caso ondas de calor e precipitação elevada. Assim, não se observa o esperado no que se refere a choques de temperatura positivo e doenças circulatórias. Por serem mais suscetíveis a falhas no sistema circulatório (MCGEEHIN; MIRABELLI, 2001), e pelos resultados anteriores, era de se esperar que a elevação de temperatura aumentasse o número de internação de idosos, o que não ocorre, traçando o caminho inverso.

Os resultados mostram que os efeitos positivos de internações por diabetes pelo aumento de temperatura dão-se principalmente nos adultos e nos idosos. O aumento de um desvio padrão em relação à média mensal histórica eleva a internação de idosos por diabetes em 0,0325. É notável também um efeito positivo sobre doenças circulatórias em jovens, um resultado inesperado, sendo o único grupo afetado positivamente por choques ambientais nessa categoria. Os jovens também parecem ser os mais afetados pela relação entre malária e temperatura, embora não haja uma ligação clara. Uma possível explicação pode ser que jovens se exponham mais e tomem menos precaução, devido à maior propensão a aceitar riscos, mas isso merece estudo específico.

Tabela 7 - Internações Por Cem Mil Habitantes (por doença analisada e acima de 15 anos de idade do indivíduo), 2007-2017

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
	Dengue	Malaria	Respirat.	Circulat.	Diabetes
Painel D - Faixa de idade: 15 a 29 anos					
Temperatura	-0.0626*** (0.0119)	0.00553*** (0.00183)	-0.180*** (0.0261)	0.0206** (0.00940)	-0.00157 (0.00356)
Chuva	0.0210** (0.00840)	-0.00153 (0.00149)	-0.0274 (0.0174)	-0.00740 (0.00833)	0.000815 (0.00344)
EF Município	S	S	S	S	S
EF Ano	S	S	S	S	S
Controle	S	S	S	S	S
Observations	718,111	718,111	718,111	718,111	718,111
R-squared	0.155	0.220	0.329	0.051	0.036
Painel E - Faixa de idade: 29 a 59					
Temperatura	-0.0869*** (0.0152)	0.00327 (0.00231)	-0.470*** (0.0423)	-0.0690* (0.0364)	0.0299*** (0.0109)
Chuva	0.0344*** (0.0109)	-0.000686 (0.00152)	-0.0836*** (0.0278)	-0.0341 (0.0285)	0.0125 (0.00915)
EF Município	S	S	S	S	S
EF Ano	S	S	S	S	S
Controle	S	S	S	S	S
Observations	725,278	725,278	725,278	725,278	725,278
R-squared	0.147	0.178	0.393	0.246	0.115
Painel F - Faixa de idade: 60 para cima					
Temperatura	-0.0534*** (0.00831)	0.000689 (0.000447)	-0.918*** (0.0562)	-0.323*** (0.0522)	0.0325** (0.0156)
Chuva	0.00609 (0.00542)	-4.41e-05 (0.000403)	-0.294*** (0.0417)	-0.00460 (0.0396)	0.00194 (0.0124)
EF Município	S	S	S	S	S
EF Ano	S	S	S	S	S
Controle	S	S	S	S	S
Observations	715,946	715,946	715,946	715,946	715,946
R-squared	0.091	0.083	0.464	0.396	0.165

Fonte: Elaboração Própria a partir de (i) IBGE; (ii) DataSUS; (iii) The TAR and TP: 1900-2017 Gridded Monthly Time Series, Version 5.01; (iv) SISAM-INPE

## CONCLUSÃO

Este trabalho foi desenvolvido a fim de compor a literatura que relaciona variações ambientais e seus impactos sobre os seres humanos. De forma geral, é esperado que a saúde humana seja impactada pelas mudanças climáticas, por diversas vias. Por exemplo, a variação de precipitação pode criar ou destruir locais de reprodução de insetos (PATZ *et al.*, 2000), criando desequilíbrio no ecossistema. A elevação de temperatura, segundo a literatura, pode elevar o tempo de vida dos vetores e dos vírus (GONZÁLEZ-TOKMAN *et al.*, 2020). Outras doenças relacionadas ao sistema respiratório, circulatório e diabetes também estão relacionados com mudanças climáticas e choques ambientais. Isso ocorre, principalmente, pelo maior estresse que o corpo enfrenta em situações de frio ou calor extremo (CUI, J. *et al.*, 2005). A ideia foi, portanto, observar se essas relações se mantinham consistentes para o caso brasileiro.

Para isso, foram utilizadas regressões com dados em painel, com base em outros artigos e no campo (em expansão) que usam a economia como ferramenta para avaliação e possível mitigação de danos ambientais. No trabalho, foram analisados como, no caso de estudo, os choques de variáveis ambientais temperatura e precipitação afetam e podem afetar futuramente a saúde da população brasileira.

Por exemplo, na Tabela 3 da seção anterior nota-se que um desvio da média histórica da temperatura eleva as internações em 0,0115 para cem mil habitantes no caso de malária, (7,38% acima da média) e diminui em 0,249 para dengue, uma queda de 7,18% da sua média. Nessa mesma Tabela também nota-se que uma elevação de 0,0651 nas internações por cem mil habitantes para dengue quando há um choque de chuva, uma elevação de 1,87%.

Para doenças circulatórias e respiratórias, ondas de frio parecem ter efeito nas internações. Além disso, secas elevam as internações por doenças respiratórias em 0,56 para cem mil habitantes, ou seja, 7,32%. De forma mais específica, quando observamos efeitos não lineares, percebemos a relação entre casos extremos e internações por doenças respiratórias, num formato de U.

Identificou-se também percebe-se que os efeitos sobre diabetes supracitados se dão principalmente em adultos e idosos, grupo de risco. Ainda, os impactos das secas sobre internações de doenças respiratórias ocorrem principalmente nos recém nascidos e nos mais velhos, grupo também mais afetado por doenças circulatórias.

Podemos concluir, então, que a maioria dos efeitos percebidos são causados devido à seca e ao frio, embora a precipitação elevada e as ondas de calor também tenham efeitos pontuais, principalmente nas arboviroses e diabetes. O trabalho é relevante para a predição corretado comportamento de doenças que afetam o povo brasileiro, possibilitando um controle maior e prevenção de danos, principalmente dos grupos mais fragilizados.

As mudanças climáticas geram uma tendência de aquecimento da Terra e, como observamos nos gráficos da *Subseção 2.3*, aumento de secas no Brasil. Dessa forma, é gritante como os choques recorrentes de temperatura alta podem elevar mais ainda as internações por diabetes e malária. Não obstante, essa tendência à seca pode ampliar os impactos sobre doenças respiratórias, principalmente em regiões bastante vulneráveis, como o semiárido nordestino,.

Portanto, num período de pandemia mundial como o causado pela Covid-19, fica claro o valor de se compreender como as mudanças climáticas afetam a transmissão de doenças e possibilita o aparecimento de novas doenças endêmicas.

Para estudos futuros, muitas lacunas e possibilidades existem. O intuito original era quantificar, via custo médio de internação, as elevações dos danos na saúde, levando em conta projeções climáticas, que pode ser aprofundado. Poder-se-ia, também, estudar como as adaptações podem mitigar os danos e ajudar a população uma vez que os países subdesenvolvidos serão mais os afetados por ondas de calor, por exemplo (MAZDIYASNI *et al.*, 2017). Embora sejam os com menor capacidade de adaptação pela baixa renda per capita (PATZ *et al.*, 2005). Existe um campo, por exemplo, que levanta a importância do ar condicionado na luta contra os impactos na saúde humana advindo das variações ambientais (BARRECA, A.; DESCHENES; GULDI, 2018) embora se não repensarmos a matriz energética, pode ocorrer a retroalimentação. Portanto, adaptação não é *deus ex machina*.

Outra ideia para trabalhos próximos é observar como programas de seguridade social (como o Bolsa Família) podem ajudar na mitigação dos danos das variações climáticas, como já feito para o México (GARG *et al.*, 2020).

O processo de mudança climática e sua consequência na saúde humana, é em sua última escala, um problema socioeconômico e não deve ser ignorado no estudo da economia e negligenciado pelos cientistas da terra e da saúde. Se quisermos frear realmente as emissões e seus impactos sobre a saúde, é necessário repensar o sistema em que vivemos e nosso padrão de consumo, como uma totalidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE SANT'ANNA, A. Not So Natural: Unequal Effects of Public Policies on the Occurrence of Disasters. **Ecological Economics**, 2018. v. 152, n. May, p. 273–281.

ARONOW, W. S.; AHN, C. Elderly Nursing Home Patients With Congestive Heart Failure After Myocardial Infarction Living in New York City Have a Higher Prevalence of Mortality in Cold Weather and Warm Weather Months. **The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences**, 2004. v. 59, n. 2, p. M146–M147.

AZEVEDO, T. S. DE; LORENZ, C.; CHIARAVALLOTI-NETO, F. Spatiotemporal evolution of dengue outbreaks in Brazil. **Transactions of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**, 2020. p. 1–10.

BAARSCH, F. *et al.* The impact of climate change on incomes and convergence in Africa. **World Development**, 2020. v. 126, n. 00, p. 1–15. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/20477724.2020.1783865>>.

BARCELLOS, C. *et al.* **Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil**. [S.l.]: [s.n.], 2009.

BARRECA, A.; DESCHENES, O.; GULDI, M. Maybe Next Month? Temperature Shocks and Dynamic Adjustments in Birth Rates. **Demography**, 2018. v. 55, n. 4, p. 1269–1293.

BARRECA, A. I.; SHIMSHACK, J. P. Absolute humidity, temperature, and influenza mortality: 30 years of county-level evidence from the united states. **American Journal of Epidemiology**, 2012. v. 176, n. SUPPL. 7, p. 114–122.

BASU, R.; SAMET, J. M. Relation between elevated ambient temperature and mortality: A review of the epidemiologic evidence. **Epidemiologic Reviews**, 2002. v. 24, n. 2, p. 190–202.

BEKKAR, B. *et al.* Association of Air Pollution and Heat Exposure With Preterm Birth , Low Birth Weight , and Stillbirth in the US A Systematic Review. 2020. v. 3, n. 6, p. 1–13.

BULL, G. M.; MORTON, J. Environment, temperature and death rates. **Age and Ageing**, 1978. v. 7, n. 4, p. 210–224.

BURKE, M. *et al.* Higher temperatures increase suicide rates in the United States and Mexico. **Nature Climate Change**, 2018. v. 8, n. 8, p. 723–729.

CAMPBELL-LENDRUM, D. *et al.* Climate change and vector-borne diseases: What are the implications for public health research and policy? **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, 2015. v. 370, n. 1665, p. 1–8.

CUI, J. *et al.* Effects of heat stress on thermoregulatory responses in congestive heart failure patients. **Circulation**, 2005. v. 112, n. 15, p. 2286–2292.

DELL, M.; JONES, B. F.; OLKEN, B. A. Temperature shocks and economic growth: Evidence from the last half century. **American Economic Journal: Macroeconomics**, jul. 2012. v. 4, n. 3, p. 66–95.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. **What do we learn from the weather? The new climate-economy literature.** **Journal of Economic Literature**. American Economic Association.

DERYUGINA, T.; HSIANG, S. M. Does the Environment Still Matter? Daily Temperature and Income in the United States. **National Bureau of Economic Research Working Paper Series**, 2014. v. No. 20750, p. 1–47. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w20750%5Cnhttp://www.nber.org/papers/w20750.pdf>.

DESCHENES, O. Temperature, human health, and adaptation: A review of the empirical literature. **Energy Economics**, 2014. v. 46, p. 606–619. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2013.10.013>.

DESCHÊNES, O.; GREENSTONE, M. Climate change, mortality, and adaptation: Evidence from annual fluctuations in weather in the US. **American Economic Journal: Applied Economics**, 2011. v. 3, n. 4, p. 152–185.

DÍAZ, J. *et al.* Heat waves in Madrid 1986-1997: Effects on the health of the elderly. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, 2002. v. 75, n. 3, p. 163–170.

DINKELMAN, T. Long-run Health Repercussions of Drought Shocks: Evidence from South African Homelands. **Economic Journal**, 2017. v. 127, n. 604, p. 1906–1939.



FALAGAS, M. E. *et al.* Unusual climatic conditions and infectious diseases: Observations made by Hippocrates. **Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica**, 2010. v. 28, n. 10, p. 716–718. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eimc.2009.11.013>>.

GARG, T. *et al.* Can Social Protection Reduce Environmental Damages ? 2020.

GEIRINHAS, J. L. *et al.* Heat-related mortality at the beginning of the twenty-first century in Rio de Janeiro, Brazil. **International Journal of Biometeorology**, 2020.

GONZÁLEZ-TOKMAN, D. *et al.* Insect responses to heat: physiological mechanisms, evolution and ecological implications in a warming world. **Biological Reviews**, 2020.

HAINES, Andy; PATZ, J. A. Health Effects of Climate Change. **Victoria**, 2004. v. 291, n. 1, p. 99–103.

HALES, S. *et al.* Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: An empirical model. **Lancet**, 2002. v. 360, n. 9336, p. 830–834.

HAY, S. I. *et al.* Climate change and the resurgence of malaria in the East African highlands. **Nature**, 2002. v. 415, n. 6874, p. 905–909.

HEAL, G.; PARK, J. Reflections-temperature stress and the direct impact of climate change: A review of an emerging literature. **Review of Environmental Economics and Policy**, 2016. v. 10, n. 2, p. 347–362.

HII, Y. L. *et al.* Forecast of Dengue Incidence Using Temperature and Rainfall. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, 2012. v. 6, n. 11.

HODDINOTT, J.; KINSEY, B. Child growth in the time of drought. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, 2001. v. 63, n. 4, p. 409–436.

HSIANG, S. Climate Econometrics. **Annual Review of Resource Economics**, 2016. v. 8, n. 1, p. 43–75.

HSIANG, S. M.; BURKE, M.; MIGUEL, E. Quantifying the influence of climate on human conflict. **Science**, 2013. v. 341, n. 6151.

HUANG, F. *et al.* Temporal correlation analysis between malaria and meteorological factors in Motuo County, Tibet. **Malaria Journal**, 2011. v. 10, p. 1–8.

IPCC. Aquecimento Global de 1,5°C: Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e respectivas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa,. **Ipcc**, 2019. p. 28. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>>.

JAKUBICKA, T. *et al.* Health impacts of floods in Europe. 2010. p. 44.

JONES, C. S. Politicizing travel and climatizing philosophy: Watsuji, Montesquieu and the European tour. **Japan Forum**, 2002. v. 14, n. 1, p. 41–62.

KOLSTAD, C. D.; MOORE, F. C. Estimating the Economic Impacts of Climate Change Using Weather Observations. **Review of Environmental Economics and Policy**, 2020. v. 14, n. 1, p. 1–24.

LEYVA, E. W. A.; BEAMAN, A.; DAVIDSON, P. M. Health Impact of Climate Change in Older People: An Integrative Review and Implications for Nursing. **Journal of Nursing Scholarship**, 2017. v. 49, n. 6, p. 670–678.

LI, Y. *et al.* Association between high temperature and mortality in metropolitan areas of four cities in various climatic zones in China : a time-series study. 2014. p. 1–10.

LIDANI, K. C. F. *et al.* **Chagas disease: From discovery to a worldwide health problem.** **Journal of Physical Oceanography**. American Meteorological Society.

LOPES, N.; NOZAWA, C.; LINHARES, R. E. C. Características gerais e epidemiologia dos arbovírus emergentes no Brasil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, 2014. v. 5, n. 3, p. 55–64.

MAZDIYASNI, O. *et al.* Increasing probability of mortality during Indian heat waves. **Science Advances**, 2017. v. 3, n. 6, p. 1–6.

MCGEEHIN, M. A.; MIRABELLI, M. The Potential Impacts of Climate Variability and Change on Temperature-Related Morbidity and Mortality in the United States.

**Environmental Health Perspectives**, 2001. v. 109, n. SUPPL. 2, p. 199–209.

MCMICHAEL, A. J.; WOODRUFF, R. E.; HALES, S. **Climate change and human health: Present and future risks. Lancet.**

MEENA, A. R. Effects of the environmental factors on *Aedes* mosquitoes: A review. **International Journal of Mosquito Research**, 2020. v. 7, n. 1, p. 37–39.

NICHOLLS, N. Estimating changes in mortality due to climate change. **Climatic Change**, 2009. v. 97, n. 1, p. 313–320.

PACHAURI, R. K. Climate change 2014 synthesis report summary chapter for policymakers. **Ipcc**, 2014. p. 31. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)>.

PATZ, J. A. *et al.* Environmental Changes & Parasitic Diseases. **International Journal for Parasitology**, 2000. v. 30, n. 12–13, p. 1395–1405. Disponível em: <[papers://44a5bfc5-03a8-49b9-9f07-1fbfe6b6320a/Paper/p844](https://papers://44a5bfc5-03a8-49b9-9f07-1fbfe6b6320a/Paper/p844)>.

PATZ, J. A. *et al.* Impact of regional climate change on human health. **Nature**, 2005. v. 438, n. 7066, p. 310–317.

PECL, G. T. *et al.* Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. **Science**, 2017. v. 355, n. 6332.

PIVER, W. T. *et al.* Temperature and air pollution as risk factors for heat stroke in Tokyo, July and August 1980–1995. **Environmental Health Perspectives**, 1999. v. 107, n. 11, p. 911–916.

REITER, P. **Climate Change and Mosquito-Borne Disease**. [S.l.]: [s.n.], 2001. Disponível em: <<http://ehpnet1.niehs.nih.gov/docs/2001/suppl-1/141-161reiter/abstract.html>>.

ROCHA, R.; SOARES, R. R. Water scarcity and birth outcomes in the Brazilian semiarid. **Journal of Development Economics**, 2015. v. 112, p. 72–91. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jdeveco.2014.10.003>>.

SANTOS, T. L. Dos; PORTO, F. H. F. Dos S.; SILVA, A. S. Análise da correlação entre

conforto e desempenho térmico em habitações de interesse social por simulação computacional. **Ambiente Construído**, 2020. v. 20, n. 2, p. 211–229.

SMITH, K. R. *et al.* Human health: Impacts, adaptation, and co-benefits. **Climate Change 2014 Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects**, 2015. p. 709–754.

SMITH, L. T. *et al.* Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon. **Scientific Reports**, 2014. v. 4, p. 1–8.

SOUZA, E. C. De *et al.* Impactos das mudanças climáticas sobre o bem-estar relacionado à saúde no Brasil. **Pesq e Planej Econ.**, 2013. v. 43, n. 1, p. 49–8.

TJADEN, N. B. *et al.* Mosquito-Borne Diseases: Advances in Modelling Climate-Change Impacts. **Trends in Parasitology**, 2018. v. 34, n. 3, p. 227–245. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pt.2017.11.006>>.

TUN-LIN, W.; BURKOT, T. R.; KAY, B. H. Effects of temperature and larval diet on development rates and survival of the dengue vector *Aedes aegypti* in north Queensland, Australia. **Medical and Veterinary Entomology**, 2000. v. 14, n. 1, p. 31–37.

VEGA, E. De *et al.* Atmospheric CO<sub>2</sub> during the Mid- Piacenzian Warm Period and the M2 glaciation Why Study the mid-Piacenzian warm period. **Sci Rep**, 2020. v. 10, n. 11002, p. 14–21.

WATTS, N.; ADGER, W. N.; AGNOLUCCI, P. Health and climate change: Policy responses to protect public health. **Environnement, Risques et Sante**, 2015. v. 14, n. 6, p. 466–468.

WILKER, E. Ambient Temperature and Biomarkers of Heart Failure: A Repeated Measures Analysis. 2012. v. 120, n. 8, p. 1083–1087.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO Malaria report 2019**. [S.l.]: [s.n.], 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. International statistical classification of diseases and related health problems. 2016. v. 2, p. 252. Disponível em: <[https://icd.who.int/browse10/Content/statichtml/ICD10Volume2\\_en\\_2016.pdf](https://icd.who.int/browse10/Content/statichtml/ICD10Volume2_en_2016.pdf)>.

XIANG, J. *et al.* Association between dengue fever incidence and meteorological factors in Guangzhou, China, 2005–2014. **Environmental Research**, 2017. v. 153, n. August 2016, p. 17–26. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2016.11.009>>.

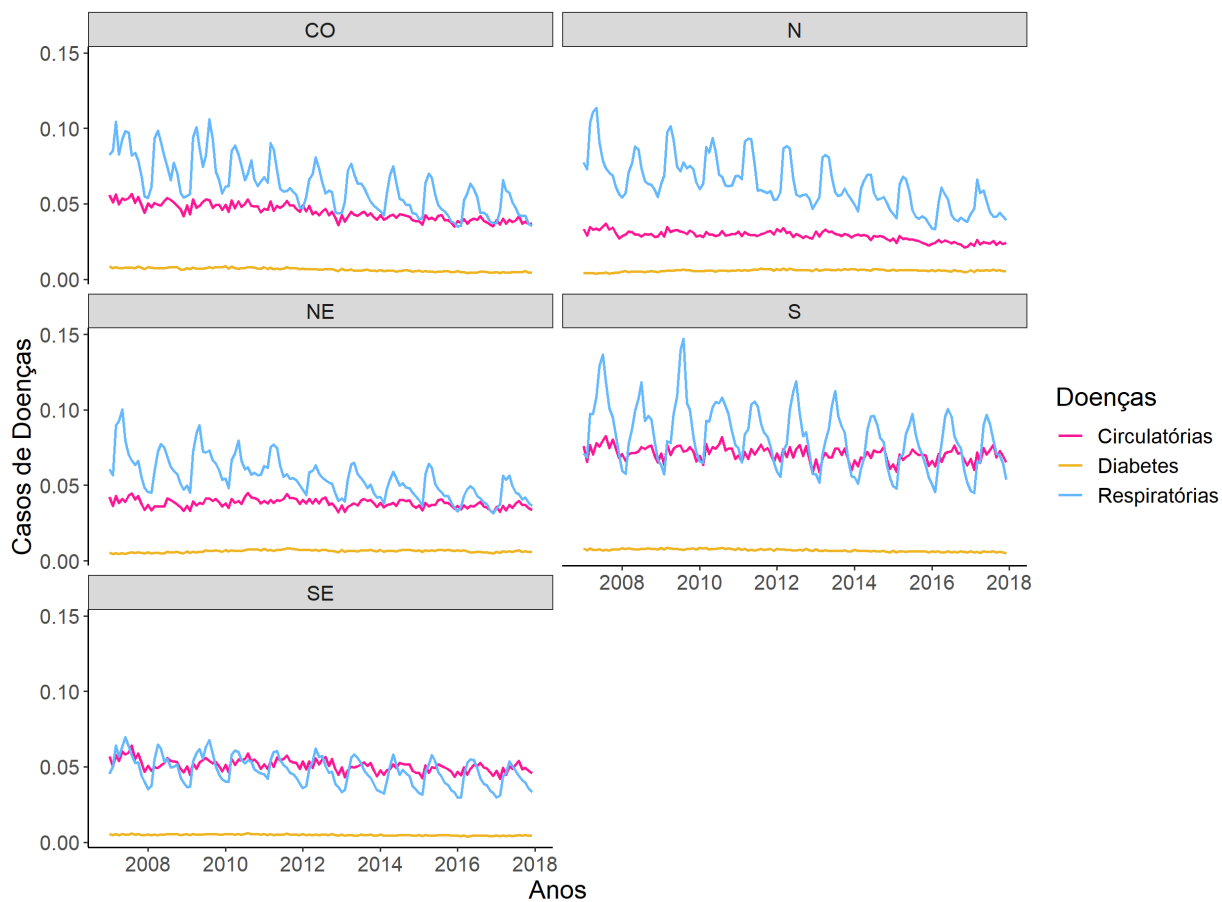
YANG, J.; YIN, P.; ZHOU, M.; OU, C. Q.; LI, M.; LIU, Yunning; *et al.* The effect of ambient temperature on diabetes mortality in China: A multi-city time series study. **Science of the Total Environment**, 2016. v. 543, p. 75–82. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.014>>.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; LI, J.; *et al.* The burden of stroke mortality attributable to cold and hot ambient temperatures: Epidemiological evidence from China. **Environment International**, 2016. v. 92–93, p. 232–238. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.04.001>>.

ZHANG, Y.; BI, P.; HILLER, J. E. Meteorological variables and malaria in a Chinese temperate city: A twenty-year time-series data analysis. **Environment International**, 2010. v. 36, n. 5, p. 439–445. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2010.03.005>>.

## APÊNDICE

Figura I - Internações mensais por doenças circulatórias, respiratórias e diabetes por região (por cem mil habitantes)



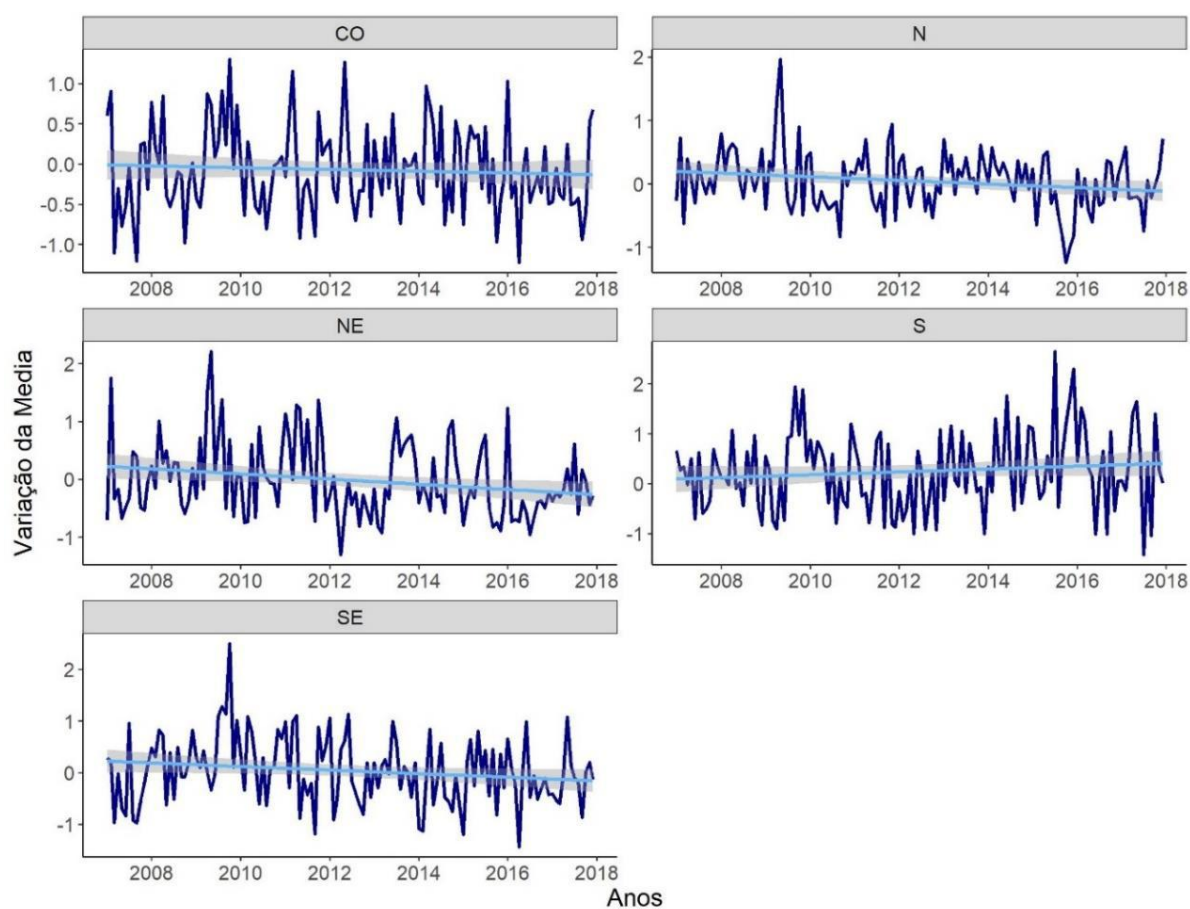
Fonte: Elaboração Própria a partir do SUS.

Figura II - Interações mensais por dengue e malária, por região (por cem mil habitantes), 2007-2017



Fonte: Elaboração Própria a partir do Terrestrial Air Temperature: 1900-2017 Gridded Monthly Time Series (V 5.01).

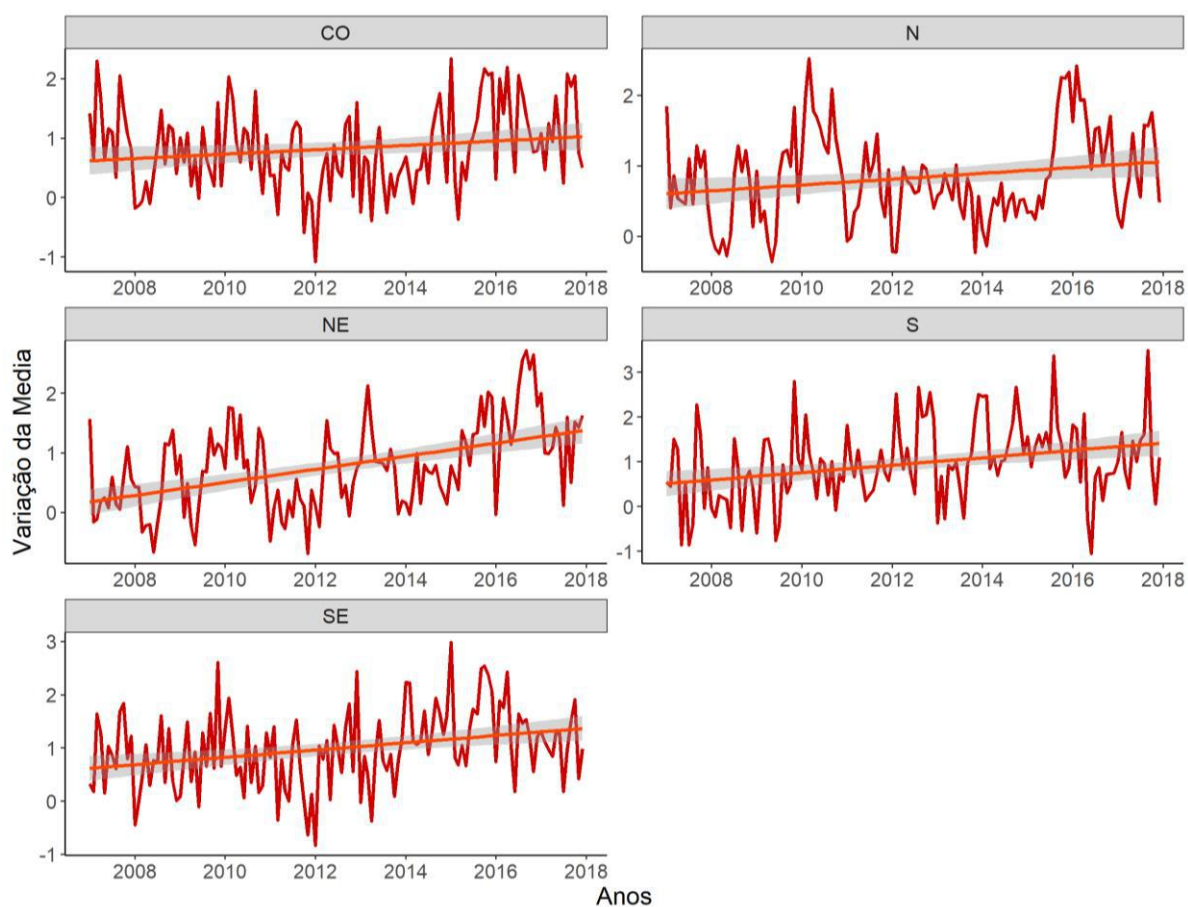
Figura III - Média do desvio mensal de precipitação por região, 2007-2017



Fonte: Elaboração Própria a partir do TP: 1900-2017 Gridded Monthly Time Series (V 5.01).



Figura IV - Média do desvio mensal de temperatura por região, 2007-2017



Fonte: Elaboração Própria a partir do Terrestrial Air Temperature: 1900-2017 Gridded Monthly Time Series (V 5.01)

